

СОГЛАСОВАНО

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

А.Н. Щипунов



ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ
ИМИТАТОР СИГНАЛОВ СН-3803М
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 651-22-041

р.п. Менделеево
2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие сведения	3
2 Перечень операций поверки средства измерений.....	5
3 Требования к условиям проведения поверки	7
4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку	7
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.....	9
8.1 Подготовка к поверке.....	9
8.2 Опробование	9
9 Проверка программного обеспечения средства измерений.....	10
10 Определение метрологических характеристик средства измерений	10
11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям.....	24
12 Оформление результатов поверки	24
Перечень сокращений	26

1 Общие сведения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на имитатор сигналов СН-3803М зав. № Н80316068 (далее по тексту — имитатор сигналов), используемый в качестве рабочего эталона 2 разряда в соответствии с государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений, изготовленный АО «КБ НАВИС», г. Москва, и устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверок.

1.2 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость к государственному первичному специальному эталону единицы длины ГЭТ 199-2018 по государственной поверочной схеме для координатно-временных измерений, утвержденной приказом Росстандарта № 2831 от 29.12.2018 г. и к государственный первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2022 по государственной схеме, утвержденной приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022 г.

1.3 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования для применения имитатора сигналов в качестве рабочего эталона 2 разряда, 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 ГЛОНАСС (L3)	1202,0250
– СНС GPS (L1)	1575,4200
– СНС GPS (L2)	1227,6000
– СНС GPS (L5)	1176,4500
– СНС Galileo (E1)	1575,4200
– СНС Galileo (E5a)	1176,4500
– СНС Galileo (E5b)	1207,1400
– ШДПС SBAS (L1)	1575,4200
Пределы относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора	$\pm 2 \cdot 10^{-8}$
Пределы относительной вариации частоты внутреннего опорного генератора за 1 сут	$\pm 5 \cdot 10^{-10}$
Среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение результата измерений частоты внутреннего опорного генератора при $\tau_i = \tau_B = 1$ с, не более	$5 \cdot 10^{-12}$
Относительный уровень помех, обусловленный паразитными составляющими, дБс ²⁾ , не более	-40

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
Динамический диапазон изменения уровня мощности выходного сигнала, дБВт ³⁾	от -180 до -140
Пределы допускаемой погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации, дБ	$\pm 0,5$
Предел допускаемого среднего квадратического отклонения (СКО) случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности (псевдодальности), м, не более – по фазе дальномерного кода – по фазе несущей частоты	0,1 0,001
Предел допускаемого СКО случайной составляющей погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности), м/с, не более	0,005
Пределы допускаемой погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода, м	$\pm 1,8$
Предел допускаемой погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты, м, не более	0,01
Пределы допускаемой погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности), м/с	$\pm 0,05$
Предел допускаемой погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011 ⁴⁾ , м, не более	3,6
Предел допускаемой погрешности формирования скорости потребителя ГНСС ⁴⁾ , м/с, не более	0,1
Предел допускаемой погрешности синхронизации шкалы времени блока имитации (выход сигнала метки времени «1 с») с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале, нс, не более	10
Диапазон скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя НАП в навигационном поле СНС, м/с	от 0 до 12000

¹⁾ k — номер литеры рабочей частоты, где $k = -7 \dots 7$;

²⁾ 1 дБс = 1 дБ относительно уровня несущей на частоте сигнала;

³⁾ 1 дБВт = 1 дБ относительно 1 Вт;

⁴⁾ при геометрическом факторе ухудшения точности по местоположению не более 2

1.4 При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы длины в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 29 декабря 2018 г. № 2831, подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 199-2018, и 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
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
Проверка программного обеспечения средства измерений	да	да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений			10
Определение номинальных значений выходных частот	да	да	10.1
Определение относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора	да	да	10.2
Определение относительной вариации частоты внутреннего опорного генератора за 1 сутки	да	да	10.3
Определение среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерений частоты внутреннего опорного генератора при $\tau_i = \tau_B = 1$ с	да	да	10.4
Определение относительного уровня помех, обусловленного паразитными составляющими	да	да	10.5
Определение динамического диапазона изменения уровня мощности выходного сигнала	да	да	10.6
Определение пределов погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации	да	да	10.7
Определение СКО случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности (псевдодальности) по фазе дальномерного кода	да	да	10.8

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Определение СКО случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности (псевдодальности) по фазе несущей частоты	да	да	10.9
Определение СКО случайной составляющей погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности)	да	да	10.10
Определение пределов погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода	да	да	10.11
Определение предела погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты	да	да	10.12
Определение пределов погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности)	да	да	10.13
Определение предела погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011	да	да	10.14
Определение предела погрешности формирования скорости потребителя ГНСС	да	да	10.15
Определение предела погрешности синхронизации шкалы времени блока имитации (выход сигнала метки времени «1 с») с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале	да	да	10.16
Определение диапазона скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя НАП в навигационном поле СНС	да	да	10.17
Подтверждение соответствия метрологическим требованиям	да	да	11

2.2 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций, приведенных 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..... 20 ± 5 ;
- относительная влажность воздуха при температуре 20°C, %,от 30 до 80;
- напряжение питания от сети переменного тока

частотой от 48 до 66 Гц, Вот 100 до 240.

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
1	2	3
8.2, 10.8-10.17	Рабочий эталон координат местоположения 1 разряда согласно государственной поверочной схеме для координатно-временных средств измерений, утверждённой приказом Росстандарта № 2831 от 29 декабря 2018 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; предел допускаемой погрешности измерения скорости изменения беззапросной дальности Δ , не более 0,01 м/с.	Комплекс эталонный формирования и измерения радионавигационных параметров ЭФИР, рег.№ 82567-21

Продолжение таблицы 3

1	2	3
10.1-10.4, 10.8-10.16	Рабочий эталон 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 менее $\pm 5,0 \cdot 10^{-11}$; 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.	Стандарт частоты рубидиевый FS 725, рег.№ 31222-06 Частотомер универсальный CNT-91R, рег.№ 41567-09
10.4	Средство измерений относительной погрешности по частоте сигналов частотой 10 МГц: среднее квадратическое относительное СКДО результата измерения частоты за интервал времени измерения 1 с не более $2,0 \cdot 10^{-14}$	Компаратор частотный VCH-314, рег.№ 35266-07
10.1, 10.5-10.7 10.17	Средство измерений мощности в диапазоне частот от 3 до $3,6 \cdot 10^9$ Гц в диапазоне мощности до 30 дБм: предел допускаемой абсолютной погрешности измерения мощности $\pm 0,6$ дБ; предел допускаемой относительной погрешности при измерении мощности $\pm 0,05$ дБ; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты по маркеру $\pm [(1,55 \cdot 10^{-7} \cdot A) + 0,1]$ 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, должны быть исправны, аттестованы или поверены.

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, читаемость обозначений, чистоту и исправность разъёмов и гнёзд.

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

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 руководства по эксплуатации 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 и включить питание заблаговременно перед очередной операцией поверки (в соответствии со временем установления рабочего режима, указанным в РЭ).

8.2 Опробование

8.2.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1, подключив имитатор сигналов к навигационному приемнику из состава рабочего эталона координат местоположения 1 разряда.

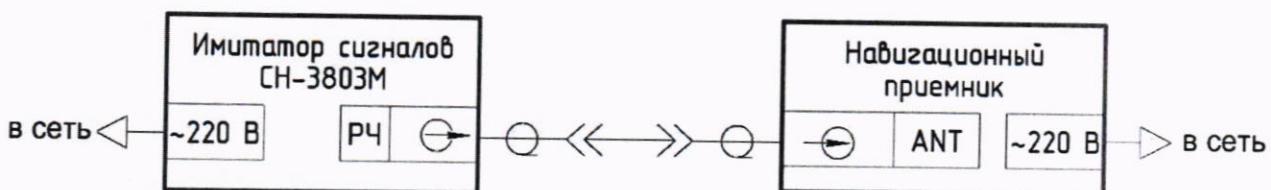


Рисунок 1 — Схема подключения имитатора сигналов для опробования

8.2.2 Включить навигационный приемник и настроить его для приёма навигационных сигналов, согласно его руководству по эксплуатации.

8.2.3 Включить имитатор сигналов путем перевода в верхнее положение тумблера на задней панели корпуса и нажатия соответствующей кнопки включения на передней панели корпуса.

8.2.4 Запустить на имитаторе выполнение сценария с сигналами СНС ГЛОНАСС (L1, L2, L3), GPS (L1, L2, L5), Galileo (E1, E5a, E5b),

ШДПС SBAS (L1) в соответствии с руководством по эксплуатации и проконтролировать отсутствие ошибок в работе имитатора сигналов.

8.2.5 Удостовериться по индикации навигационного приемника в приеме сигналов НКА СНС, заданных в сценарии.

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

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1.1 Включить имитатор сигналов путем перевода в верхнее положение тумблера на задней панели корпуса и нажатия соответствующей кнопки включения на передней панели корпуса.

9.1.2 Проконтролировать номер версии программного обеспечения ТДЦК.80024-03, который отображается на дисплее при его включении.

9.1.3 Запустить ПЭВМ из состава имитатора сигналов согласно РЭ.

9.1.4 Запустить программное обеспечение ТДЦК.80025-04 и проконтролировать номер версии, который отображается в строке заголовка.

9.2 Идентификационные данные ПО представлены в таблице 4.

Таблица 4 — Идентификационные данные ПО имитатора сигналов

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
Идентификационное наименование	ТДЦК.80024-03	ТДЦК.80025-04
Номер версии (идентификационный номер), не ниже	21.8.7.0.1.18	4.4.5

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

10.1 Определение номинальных значений выходных частот

10.1.1 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 2, подключив выход имитатора сигналов «КАЛИБР» с помощью радиочастотного кабеля ко входу «IN1» анализатора сигналов. Подать сигнал опорной частоты 10 МГц со стандарта частоты на вход 10 МГц внешней опорной частоты анализатора сигналов.

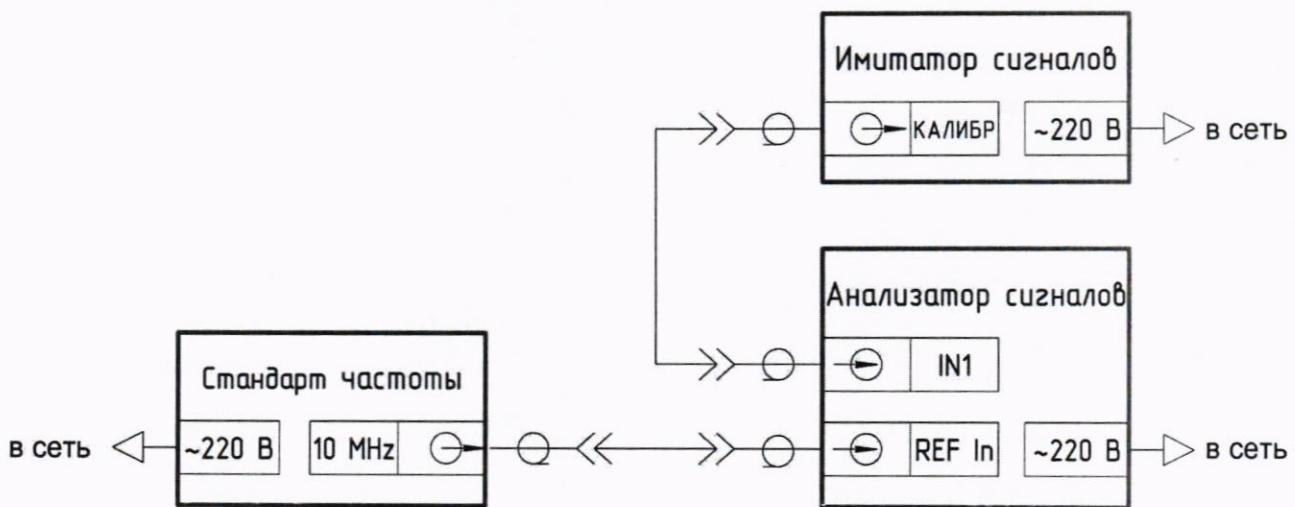


Рисунок 2 — Схема измерений для определения значений несущих частот выходных сигналов имитатора сигналов

10.1.2 Дождаться установления рабочего режима для каждого из средств измерений.

10.1.3 Настроить анализатор сигналов таким образом, чтобы уровень собственных шумов был не более минус 115 дБм.

10.1.4 В соответствии с руководством по эксплуатации имитатора сигналов поочередно устанавливать выдачу доступных навигационных сигналов ГНСС в каждом частотном диапазоне (дальномерный код отключен, доплеровский сдвиг частоты отключен, уровень мощности не менее минус 100 дБВт) в соответствии с таблицей 5.

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. Таким образом, номинальные значения выходных частот сигналов, формируемых имитатором, составляют значения, приведенные в таблице 5.

Таблица 5

Наименование характеристики	Значение характеристики
Номинальные значения выходных частот, МГц СНС ГЛОНАСС (L1)	$1602 + k \cdot 0,5625$ ¹⁾ $1246 + k \cdot 0,4375$
СНС ГЛОНАСС (L2)	1202,0250
СНС ГЛОНАСС (L3)	1575,4200
СНС GPS (L1)	1227,6000
СНС GPS (L2)	1176,4500
СНС GPS (L5)	1575,4200
СНС Galileo (E1)	1176,4500
СНС Galileo (E5a)	1207,1400

Наименование характеристики	Значение характеристики
СНС Galileo (E5b) ШДПС SBAS (L1)	1575,4200
¹⁾ k — номер литеры рабочей частоты, где $k = -7 \dots 7$.	

10.2 Определение относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора

10.2.1 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 3.

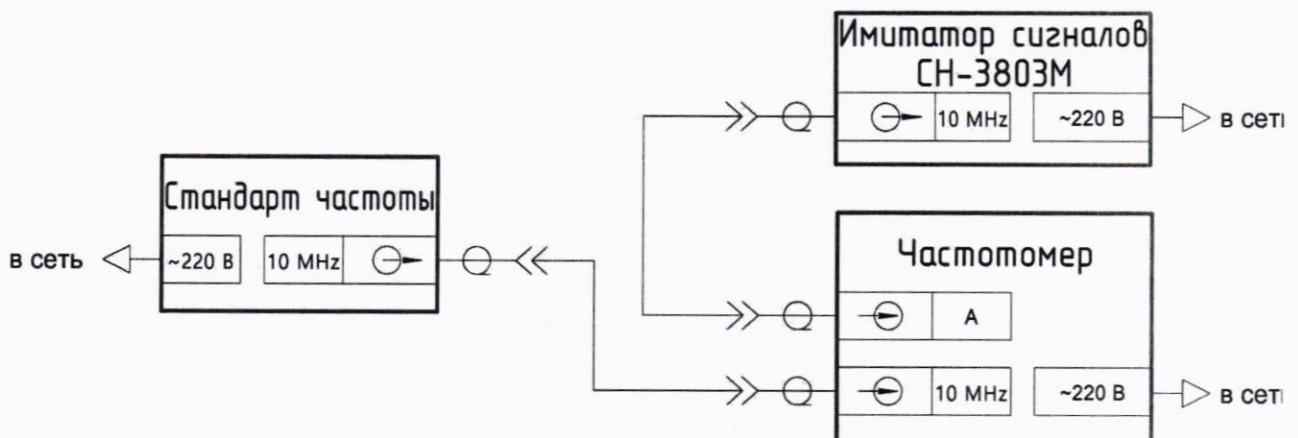


Рисунок 3 — Схема измерений для определения относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора

10.2.2 Вывести стандарт частоты на номинальный режим работы, согласно его руководству по эксплуатации.

10.2.3 Включить имитатор сигналов и частотомер, согласно их РЭ.

10.2.4 Выждать время прогрева средств измерений 2 ч для установления их рабочего режима работы.

10.2.5 Измерить среднее значение частоты внутреннего опорного генератора имитатора сигналов на интервале времени измерений 10 мин.

10.2.6 Определить относительную погрешность по частоте по формуле:

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

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

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

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

10.3 Определение относительной вариации частоты внутреннего опорного генератора за 1 сутки

10.3.1 Выполнить операции согласно пп. 10.2.1-10.2.4.

10.3.2 Измерить значение частоты внутреннего опорного генератора имитатора сигналов на интервале измерений 10 мин и интервале между измерениями равным 1 сут.

10.3.3 Определить значение относительной вариации частоты по формуле:

$$\sigma_{\text{оф1}} = \frac{f_{\text{B}} - f_{\text{A}}}{f_{\text{ном}}}, \quad (2)$$

где f_{A} — измеренная начальная частота имитатора сигналов, Гц;

f_{B} — измеренная частота имитатора сигналов через 1 сут, Гц;

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

10.3.4 Результаты поверки п. 10.3 считать положительными, если значение относительной вариации частоты внутреннего опорного генератора имитатора за 1 сут находится в пределах $\pm 5 \cdot 10^{-10}$.

10.4 Определение среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерений частоты внутреннего опорного генератора при $\tau_i = \tau_B = 1$ с

10.4.1 Собрать схему измерений согласно рисунку 4, подключив ко входам компаратора из состава рабочего эталона единиц времени, частоты и шкалы времени 3 разряда сигналы 10 МГц с имитатора сигналов и стандарта частоты.

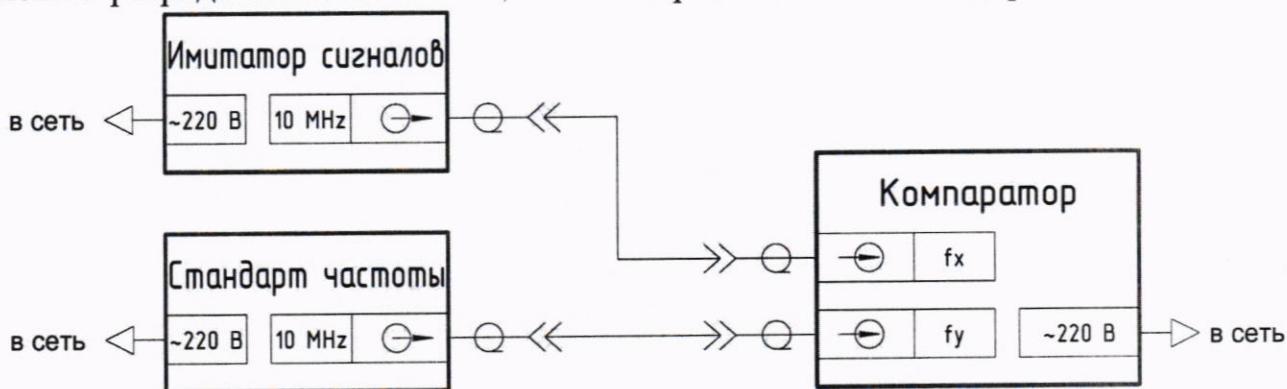


Рисунок 4 — Схема измерений для определения относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора

10.4.2 Вывести стандарт частоты на номинальный режим работы согласно его руководству по эксплуатации.

10.4.3 Включить имитатор сигналов и частотомер согласно их РЭ.

10.4.4 Выждать время прогрева средств измерений 2 ч для установления их рабочего режима работы.

10.4.5 Провести определение среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерений частоты внутреннего опорного генератора имитатора при $\tau_i = \tau_B = 1$ с в соответствии с РЭ на компаратор частотный.

10.4.6 Результаты поверки п. 10.4 считать положительными, если значение среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерений частоты внутреннего опорного генератора имитатора при $\tau_i = \tau_B = 1$ с не более $5 \cdot 10^{-12}$.

10.5 Определение относительного уровня помех, обусловленного паразитными составляющими

10.5.1 Собрать схему измерений, приведённую на рисунке 5, подключив с помощью радиочастотного кабеля калибровочный выход имитатора сигналов ко входу анализатора сигналов.

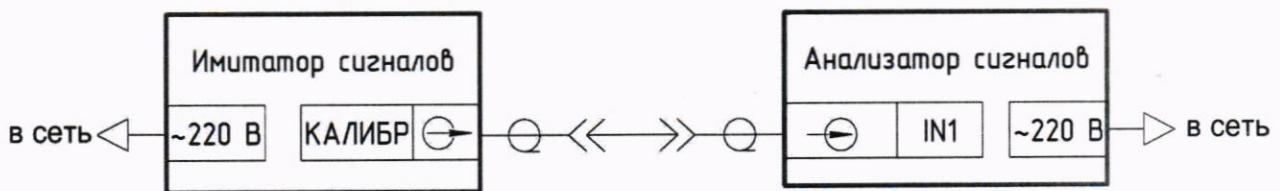


Рисунок 5 — Схема измерений для определения относительного уровня помех, обусловленного паразитными составляющими

10.5.2 Сформировать и воспроизвести на имитаторе сигналов сценарий по формированию немодулированного сигнала в диапазоне L1 (литера 0) СНС ГЛОНАСС согласно его РЭ.

10.5.3 Установить значение скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности), соответствующее значению доплеровского сдвига частоты 50 кГц.

10.5.4 Настроить центральную частоту измерений анализатора сигналов на значение 1602,05 МГц и измерить мощность сигнала на центральной частоте P_0 .

10.5.5 Измерить на анализаторе сигналов значения мощности сигнала P_i при отстройках частоты минус 200 кГц, минус 100 кГц, минус 50 кГц от значения центральной частоты измерений анализатора сигналов (1602,05 МГц).

10.5.6 Рассчитать относительный уровень помех, обусловленных паразитными составляющими в спектре выходного сигнала, по формуле:

$$\delta_i = P_0 - P_i, \quad (3)$$

где $i = 1 \dots 3$

10.5.7 Провести аналогичные измерения в диапазонах частот L2, L3 СНС ГЛОНАСС, а также СНС GPS (L1, L2, L5), СНС Galileo (E1, E5a, E5b), ШДПС SBAS (L1).

10.5.8 Результаты поверки п. 10.5 считать положительными, если значения относительного уровня помех, обусловленного паразитными составляющими, составляют не более минус 40 дБс.

10.6 Определение динамического диапазона изменения уровня мощности выходного сигнала

10.6.1 Собрать схему измерений, приведённую на рисунке 5, подключив с помощью радиочастотного кабеля калибровочный выход имитатора сигналов ко входу анализатора сигналов.

10.6.2 Сформировать и воспроизвести на имитаторе сигналов сценарий по формированию сигнала в диапазоне L1 (литера 0) СНС ГЛОНАСС, согласно РЭ.

10.6.3 Установить нулевым значение скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности).

10.6.4 Измерить значение мощности сигнала с использованием анализатора сигналов.

10.6.5 Рассчитать значение верхней границы динамического диапазона изменения уровня мощности выходного сигнала по формуле:

$$\Delta^1 = P_{КАЛИБР} - P_{ATT}, \quad (4)$$

где $P_{КАЛИБР}$ — мощность сигнала, измеренная анализатором сигналов;

P_{ATT} — ослабление мощности аттенюатором в тракте навигационного сигнала на порту «РЧ» имитатора, за исключением порта «КАЛИБР», $P_{ATT} = 60$ дБ.

10.6.6 Рассчитать значение нижней границы динамического диапазона изменения уровня мощности выходного сигнала по формуле:

$$\Delta^2 = \Delta^1 - P_{ATT}^1 - P_{ATT}^2, \quad (5)$$

где P_{ATT}^1, P_{ATT}^2 — мощности сигналов, ослабляемые аттенюаторами в универсальных блоках имитации, $P_{ATT}^1 = P_{ATT}^2 = 20$ дБ.

10.6.7 Провести аналогичные измерения в диапазонах частот L2, L3 СНС ГЛОНАСС, а также СНС GPS (L1, L2, L5), СНС Galileo (E1, E5a, E5b), ШДПС SBAS (L1).

10.6.8 Результаты поверки п. 10.6 считать положительными, если верхняя граница динамического диапазона изменения уровня мощности выходного сигнала составляет значение не менее минус 140 дБВт, нижняя граница динамиче-

ского диапазона изменения уровня мощности выходного сигнала составляет значение не более минус 180 дБВт, что свидетельствует о том, что динамический диапазон изменения уровня мощности выходного сигнала составляет от минус 180 дБВт до минус 140 дБВт.

10.7 Определение пределов погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации

10.7.1 Выполнить пп. 10.6.1-10.6.3.

10.7.2 Последовательно измерить значение мощности сигнала с использованием анализатора сигналов при генерации сигнала в каналах имитатора с 1 по 32, $P_1 \dots P_{32}$.

10.7.3 Вычислить погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации по формуле:

$$\Delta_k = P_{k+1} - P_k, \quad (6)$$

где $k = 1 \dots 31$.

10.7.4 Провести аналогичные измерения в диапазонах частот L2, L3 СНС ГЛОНАСС, а также СНС GPS (L1, L2, L5), СНС Galileo (E1, E5a, E5b), ШДПС SBAS (L1).

10.7.5 Результаты поверки п. 10.7 считать положительными, если значения погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации находятся в пределах $\pm 0,5$ дБ.

10.8 Определение СКО случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности (псевдодальности) по фазе дальномерного кода

10.8.1 Собрать схему измерений, приведенную на рисунке 6, подключив имитатор сигналов к навигационному приемнику из состава рабочего эталона координат местоположения 1 разряда. Подключить к имитатору сигналов и навигационному приемнику измеритель временных интервалов и стандарт частоты из состава государственного рабочего эталона единиц времени, частоты и шкалы времени 1 разряда.

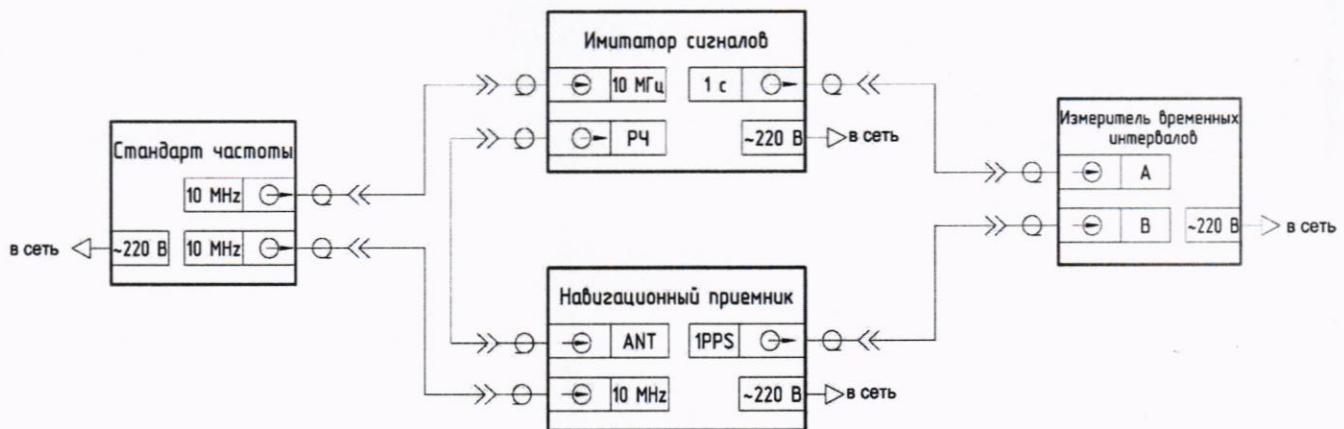


Рисунок 6 — Схема измерений для определения погрешности воспроизведения беззапросной дальности

10.8.2 Настроить измеритель временных интервалов на измерение интервалов времени от входа «A» ко входу «B» с параметрами каналов измерения: импеданс 50 Ом, триггер по нарастающему фронту сигналов с уровнем 1 В.

10.8.3 Настроить навигационный приемник из состава рабочего эталона 1 разряда единиц координат местоположения в соответствии с руководством по эксплуатации на запись измерений текущих навигационных параметров с частотой одно сообщение в 30 с в файл формата RINEX.

10.8.4 Установить работу навигационного приемника и имитатора сигналов от внешнего источника опорной частоты.

10.8.5 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	12 ч
Дискретность записи	30 с
Количество НКА GPS/ГЛОНАСС	Текущая группировка
Параметры среды распространения навигационных сигналов	Тропосфера отсутствует Ионосфера отсутствует
Начальные координаты в СК WGS-84: - широта - долгота - высота, м	57 °00'00" N 36 °00'00" E 200,00
Модель движения объекта	Статика

10.8.6 По окончанию сценария зафиксировать и записать значение расхождения шкал времени навигационного приемника и имитатора сигналов.

10.8.7 Выделить из итоговых результатов действительные измерения беззапросной дальности (псевдодальности) навигационного приемника по фазе дальномерного кода сигналов ГНСС ГЛОНАСС с открытым доступом в частотном диапазоне L1 для каждого видимого НКА на протяжении более 4 ч.

10.8.8 Выделить соответствующие значения псевдодальности (на эпохи измерений навигационного приемника) из файла протокола сценария, сформированного имитатором сигналов.

10.8.9 Рассчитать погрешность воспроизведения псевдодальности для каждой эпохи измерений:

$$\Delta R_i = R_{\text{ref } i} - (R_i + c \cdot \Delta t), \quad (7)$$

где R_{ref} — действительное i -е значение псевдодальности до НКА, измеренное НАП, 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.

10.8.10 Определить СКО случайной составляющей абсолютной погрешности воспроизведения псевдодальности.

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\Delta R_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta R_i \right)^2}{N-1}}. \quad (8)$$

где N — число измерений.

10.8.11 Выполнить вычисления по формулам (7)-(8) для каждой частотной линии ГНСС ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1 и для сигналов других СНС согласно таблице 5.

10.8.12 Результаты поверки п. 10.8 считать положительными, если значение СКО случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности (псевдодальности) по фазе дальномерного кода не более 0,1 м

10.9 Определение СКО случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности (псевдодальности) по фазе несущей частоты

10.9.1 Выполнить пп. 10.8.1-10.8.6.

10.9.2 Выделить из итоговых результатов действительные измерения псевдодальности по фазе несущей частоты навигационного приемника для каждого видимого НКА на протяжении более 4 ч.

10.9.3 Перевести измерения НАП в метры путём умножения на длину волны с учётом литерной зависимости.

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

10.9.5 Рассчитать погрешность измерений псевдодальности по фазе несущей частоты на каждую эпоху:

$$\Delta R_{\varphi i} = R_{\text{ref } \varphi i} - (R_{\varphi i} + c \cdot \Delta t). \quad (9)$$

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.

10.9.6 Рассчитать СКО случайной составляющей погрешности измерений псевдодальности по фазе несущей частоты:

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\Delta R_{\varphi i} - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta R_{\varphi i} \right)^2}{N-1}}. \quad (10)$$

10.9.7 Результаты поверки п. 10.9 считать положительными, если максимальное рассчитанное значение СКО случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности (псевдодальности) по фазе несущей частоты не более 0,001 м.

10.10 Определение СКО случайной составляющей погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности)

10.10.1 Выполнить пп. 10.8.1-10.8.2.

10.10.2 Из результатов измерений навигационного приемника выделить доплеровские смещения несущей частоты сигналов для каждого видимого НКА на протяжении более 4 ч.

10.10.3 Выделить соответствующие значения доплеровские смещения несущей частоты (на эпохи измерений НАП) из файла протокола сценария, сформированного имитатором сигналов.

10.10.4 Перевести измеренные значения доплеровского смещения несущей частоты сигналов из [Гц] в [м/с], путём умножения на длину волны (с учётом несущей частоты сигнала), получив значения скорости изменения беззапросной дальности.

10.10.5 Рассчитать для каждого видимого НКА на протяжении более 4 ч погрешность воспроизведения псевдоскорости на каждую эпоху:

$$\Delta D_i = D_{\text{ref } i} - D_i, \quad (11)$$

где $D_{\text{ref } i}$ — действительное i -е значение псевдоскорости до НКА, измеренное навигационным приемником, м/с;

D_i — сформированное i -е значение псевдоскорости до НКА, взятое из протокола сценария, м/с.

10.10.6 Вычислить значения СКО случайной составляющей погрешности формирования скорости изменения псевдодальности по формуле:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\Delta D_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta D_i \right)^2}{N-1}}. \quad (12)$$

10.10.7 Результаты поверки п. 10.10 считать положительными, если максимальное рассчитанное значение СКО случайной составляющей погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности) не более 0,005 м/с.

10.11 Определение пределов погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода

10.11.1 Выполнить 10.8.1-10.8.8.

10.11.2 Рассчитать среднее значение погрешностей воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода на интервале времени наблюдения для каждой частотной литеры ГНСС ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1:

$$\Delta R = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left[R_{\text{ref } i} - (R_i + c \cdot \Delta t) \right], \quad (13)$$

где i — литера рабочей частоты ГНСС ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1,

N — число литер рабочей частоты ГНСС ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1.

10.11.3 Повторить вычисления пп. 10.11.1, 10.11.2 для всех частотных диапазонов сигналов всех СНС согласно таблице 5.

10.11.4 Рассчитать среднее значение погрешностей воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода для каждой СНС:

$$\overline{\Delta R}_{m,L1} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Delta R_{m,L1,j}, \quad (14)$$

где m — выбранная СНС;

$L1$ — частотный диапазон L1;

j — литера рабочей частоты для сигналов с частотным разделением или номер НКА для сигналов с кодовым разделением (в диапазоне L1);

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

10.11.5 Средние значения погрешностей воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода для каждой СНС записать как базовые систематические погрешности.

10.11.6 Рассчитать приведенную погрешность воспроизведения псеводальности по фазе дальномерного кода для каждой СНС:

$$\Delta\hat{R}_{m,k,j} = \Delta R_{m,k,j} - \overline{\Delta R}_{m,L1}. \quad (15)$$

где k — выбранный частотный диапазон;

10.11.7 Рассчитать пределы погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода, прибавив к приведённой погрешности, полученной в п. 10.11.6, случайную составляющую погрешности, полученную в п. 10.8.10, для всех систем всех частотных диапазонов по формуле:

$$\Pi(R_{m,k,j}) = \pm \left(\Delta\hat{R}_{m,k,j} + 3 \cdot \sigma_{R_{m,k,j}} \right). \quad (16)$$

10.11.8 Результаты поверки п. 10.11 считать положительными, если для всех СНС пределы погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода находятся в диапазоне $\pm 1,8$ м.

10.12 Определение предела погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты

10.12.1 Выполнить 10.9.1-10.9.6.

10.12.2 Рассчитать предел погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты для каждой СНС в каждом частотном диапазоне по формуле:

$$\Delta\tilde{R}_{\varphi_{m,k}} = 3 \cdot \sigma_{\varphi_{m,k}}. \quad (17)$$

где m — выбранная СНС;

k — выбранный частотный диапазон

10.12.3 Результаты поверки п. 10.12 считать положительными, если предел погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты не более 0,01 м.

10.13 Определение пределов погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности)

10.13.1 Выполнить п. 10.10.

10.13.2 Рассчитать пределы погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности) по формуле:

$$\Delta \tilde{D} = \pm \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta D_i + 3 \cdot \sigma_D \right). \quad (18)$$

10.13.3 Результаты поверки п. 10.13 считать положительными, если пределы погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности не превышают $\pm 0,05$ м/с.

10.14 Определение предела погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011

10.14.1 Выполнить п. 10.11.

10.14.2 Рассчитать погрешность формирования координат потребителя ГНСС (принимается максимальное значение $PDOP = 2$):

$$\Pi_{\text{coord}} = PDOP \cdot \left| \max \left(\Delta \hat{R}_{m,k,j} \right) \right|. \quad (19)$$

где $PDOP$ — геометрический фактор снижения точности определения местоположения, зависит от формируемого созвездия навигационных космических аппаратов; $\Delta \hat{R}$ — приведенная погрешность воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода, м.

10.14.3 Результаты поверки п. 10.14 считать положительными, если предел погрешности воспроизведения координат потребителя ГНСС в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011 не более 3,6 м.

10.15 Определение предела погрешности формирования скорости потребителя ГНСС

10.15.1 Выполнить п. 10.12.

10.15.2 Рассчитать погрешность формирования скорости потребителя ГНСС (принимается максимальное значение $PDOP = 2$):

$$\Pi_{\text{vel}} = PDOP \cdot \left| \max \left(\Delta D_i \right) \right| \quad (20)$$

где PDOP — геометрический фактор снижения точности определения местоположения, зависит от формируемого созвездия навигационных космических аппаратов; ΔD — погрешность воспроизведения псевдоскорости, м/с.

10.15.3 Результаты поверки п. 10.15 считать положительными, если предел погрешности формирования скорости потребителя ГНСС не более 0,1 м/с.

10.16 Определение предела погрешности синхронизации шкалы времени блока имитации (выход сигнала метки времени «1 с») с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале

10.16.1 Выполнить пп. 10.11.1-10.11.5.

10.16.2 Перевести базовые систематические погрешности, полученные в п. 10.16.1, из метров в наносекунды путём деления на скорость света.

10.16.3 Результаты поверки п. 10.16 считать положительными, если для всех ГНСС значения погрешности синхронизации шкалы времени имитатора (выход сигнала метки времени 1 PPS) с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале не более 10 нс.

10.17 Определение диапазона скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя НАП в навигационном поле СНС

10.17.1 Определение диапазона скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя НАП в навигационном поле СНС проводить по схеме, приведенной на рисунке 2. Подключить с помощью радиочастотного кабеля к порту «КАЛИБР», расположенному на передней панели блока имитации из состава имитатора, вход анализатора сигналов.

10.17.2 Сформировать и воспроизвести на имитаторе сценарий по формированию немодулированного сигнала в диапазоне L1 (литера 0, номинальное значение частоты сигнала $f_0 = 1602,00$ МГц) СНС ГЛОНАСС согласно РЭ.

10.17.3 Установить значение скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности) равным 12 000 м/с.

10.17.4 Измерить частоту сигнала f_1 при помощи маркера анализатора сигналов Agilent N9030A.

10.17.5 Рассчитать значение доплеровского сдвига частоты по формуле:

$$\Delta f_d = |f_1 - f_0|, \quad (21)$$

где f_0 — номинальное значение частоты сигнала, МГц;

f_1 — частота сигнала, измеренная анализатором сигналов, МГц.

10.17.6 Рассчитать значение скорости изменения псевдодальности по формуле:

$$\vartheta = \frac{\Delta f_d}{f_0} \cdot c . \quad (22)$$

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

10.17.7 Провести аналогичные измерения в диапазонах частот L2, L3 СНС ГЛОНАСС, а также СНС GPS (L1, L2, L5), СНС Galileo (E1, E5a, E5b), ШДПС SBAS (L1).

10.17.8 Результаты поверки п. 10.17 считать положительными, если рассчитанное значение скорости изменения псевдодальности составляет $12000 \pm 0,1$ м/с, что свидетельствует о том, что диапазон скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя НАП в навигационном поле СНС составляет от 0 до 12000 м/с.

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 Результаты поверки считаются положительными при одновременном выполнении пп. 10.1-10.17 в результате поверки имитатора сигналов (метрологические характеристики имитатора сигналов соответствуют установленным при утверждении типа средства измерений).

11.2 При получении отрицательных результатов в одном из пп. 10.1-10.17 результаты поверки считаются отрицательными, а имитатор сигналов бракуется.

11.3 Подтверждение соответствия средства измерений обязательным требованиям.

11.3.1 Метрологические характеристики должны соответствовать требованиям, предъявляемым к рабочим эталонам согласно Государственной поверочной схеме для координатно-временных средств измерений.

12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты поверки имитатора сигналов подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений,ключенными 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.

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

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

12.4 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»

Д.С. Печерица

Начальник лаборатории
ФГУП «ВНИИФТРИ»

С.Ю. Бурцев

Инженер-программист
ФГУП «ВНИИФТРИ»

А.С. Мальцев

Перечень сокращений

GPS	— global positioning system (United states of America) (рус., глобальная навигационная система навигации (Соединенные штаты Америки))
PDOP	— horizontal dilution of precision (рус., показатель снижения точности определения положения в горизонтальной плоскости)
RINEX	— receiver independent exchange format, формат обмена данными для файлов исходных данных навигационных приёмников
SBAS	— satellite-based augmentation system, спутниковая система функци- ональных дополнений
ГЛОНАСС	— глобальная навигационная спутниковая система (Российская Фе- дерация)
ГНСС	— глобальная навигационная спутниковая система
КБ	— конструкторское бюро
МП	— методика поверки
НИО	— научное исследовательское отделение
НКА	— навигационный космический аппарат
ПО	— программное обеспечение
ПСП	— псевдослучайная последовательность
ПЭВМ	— персональная электронно-вычислительная машина
РЭ	— руководство по эксплуатации
СИ	— средство измерений
СК	— система координат
СКО	— среднее квадратическое отклонение
СКДО	— среднее квадратическое двухвыборочное отклонение
СНС	— спутниковая навигационная система
СПО	— специальное программное обеспечение
ШДПС	— широкозонная дифференциальная подсистема