

СОГЛАСОВАНО

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



 А.Н. Щипунов
« 20 » 02 2026 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ИМИТАТОРЫ СИГНАЛОВ СТАЦИОНАРНОГО ИСПОЛНЕНИЯ СН-5820
ТДЦК.464938.029

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 841-26-01

пгт. Менделеево
2026 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.....	6
6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки	8
7. Внешний осмотр средства измерений	8
8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8
9. Проверка программного обеспечения средства измерений.....	9
10. Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	9
11. Оформление результатов поверки	24
Перечень сокращений	25
Приложение А Измерение ГВЗ в коаксиальных кабелях.....	26

1. Общие сведения

1.1. Настоящая методика поверки распространяется на имитаторы сигналов стационарного исполнения СН-5820 ТДЦК.464938.029 (далее по тексту — имитаторы сигналов), изготовленные акционерным обществом «Конструкторское бюро навигационных систем» (АО «КБ НАВИС»), 121170, г. Москва, ул. Кульнева, д. 3, стр. 1, пом. III, ком. 5, 6, и устанавливает методы и средства их 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 № 1374 от 07.06.2024 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 № 1374 от 07.06.2024 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 — Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Пределы допускаемой относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора	$\pm 2 \cdot 10^{-8}$
Предел допускаемого среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерений частоты внутреннего опорного генератора при $\tau_k = \tau_b = 1$ с	$4 \cdot 10^{-12}$
Максимальный уровень мощности выходного сигнала, дБ (исх. 1 Вт), не менее	-80
Пределы допускаемой погрешности установки уровня мощности выходных сигналов между каналами имитации, дБ	$\pm 0,5$
Предел допускаемой погрешности воспроизведения беззапросной дальности, м: – по фазе дальномерного кода – по фазе несущей частоты	0,3 0,001
Предел допускаемой погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности ¹⁾ , м/с	0,05

Наименование характеристики	Значение
Предел допускаемой погрешности синхронизации шкалы времени блока имитации (выход сигнала метки времени «1 с») с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале, нс	1
Предел допускаемой погрешности формирования приращения координат, мм: – в плане – по высоте	$2+0,2 \cdot 10^{-6} \cdot D^{2)}$ $3+0,2 \cdot 10^{-6} \cdot D^{2)}$
Предел допускаемой погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011 ^{3), 4)} , м	0,6
Предел допускаемой погрешности формирования скорости потребителя ГНСС ^{1), 4)} , м/с	0,1
Примечания: ¹⁾ В диапазоне скоростей потребителя ГНСС от 0 до 12000 м/с ²⁾ D – значение измеренной длины базисных линий, мм ³⁾ С учётом калибровочных поправок к воспроизведению беззапросной дальности по фазе дальномерного кода ⁴⁾ При 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 № 1374 от 07.06.2024 г. и подтверждающей прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 218-2022, и передача единицы частоты в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022 г., 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. При проведении обработки измерений необходимо руководствоваться ГОСТ Р 8.736-2011.

2. Перечень операций поверки средства измерений

2.1. Имитаторы сигналов до ввода в эксплуатацию подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации, в том числе после ремонта, — периодической поверке.

2.2. 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
4.1 Определение относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора	да	да	10.1
4.2 Определение среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерений частоты внутреннего опорного генератора при $\tau_H = \tau_B = 1$ с	да	да	10.2
4.3 Определение максимального уровня мощности выходного сигнала	да	да	10.3
4.4 Определение погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации	да	да	10.4
4.5 Определение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода	да	да	10.5
4.6 Определение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты	да	да	10.6
4.7 Определение погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности	да	да	10.7
4.8 Определение погрешности синхронизации шкалы времени блока имитации (выход сигнала метки времени «1 с») с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале	да	да	10.8
4.9 Определение погрешности формирования приращения координат	да	да	10.9
4.10 Определение погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011	да	да	10.10
4.11 Определение погрешности формирования скорости потребителя ГНСС	да	да	10.11

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

2.4. 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, %, не более 80;
- напряжение питания от сети переменного тока

частотой от 48 до 52 Гц, В..... от 198 до 242.

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 (РЭ) средств измерений, применяемых при поверке.

4. Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1. Поверка должна осуществляться лицами с высшим или средним техническим образованием, аттестованным в качестве поверителей средств измерений геометрических величин и средств измерения времени и частоты.

5. Метрологические и технические требования к средствам поверки

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

5.2. 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
8.2, 10.5, 10.6 10.8-10.10	Рабочий эталон координат местоположения 1 разряда согласно государственной поверочной схеме для координатно-временных средств измерений, утверждённой приказом Росстандарта № 1374 от 07.06.2024 г.: - предел допускаемой погрешности измерения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода, не более 0,05 м; - предел допускаемой погрешности измерения беззапросной дальности по фазе несущей частоты, не более 0,001 м	Комплекс эталонный формирования и измерения радионавигационных параметров ЭФИР рег. № 82567-21
10.3, 10.4, 10.7, 10.11	Средство измерений 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; - абсолютная погрешность счетчика частоты маркера $\pm(f_{\text{meas}} \cdot f_{\text{ref}} + 0,1 \text{ Гц})$, где f_{meas} – частота маркера, f_{ref} – погрешность опорной частоты; - разрешение счетчика 0,001 Гц	Анализатор сигналов Agilent N9030A, рег. № 51073-12

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, 10.5-10.8, 10.10-10.11, А.1	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 — $2,0 \cdot 10^{-7}$; - пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения интервалов времени 0,62 нс при интервале времени до 100 мкс.	1 Стандарт частоты рубидиевый FS 725, рег. № 31222-06 (пп. 10.1, 10.2, 10.5-10.8, 10.10-10.11, А.1) 2 Частотомер универсальный CNT-91R с опцией измерения временных интервалов, рег. № 41567-09 (пп. 10.1, 10.5, 10.6 10.8, 10.10, А.1)
10.2	Средство измерений относительной погрешности по частоте сигналов частотой 10 МГц: среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение (СКДО) результата измерений частоты за интервал времени измерения 1 с не более $8,0 \cdot 10^{-14}$	Компаратор частотный VCH-314, рег. № 35266-07
Вспомогательные средства поверки (средства контроля условий поверки)		
8.2, 10.1-10.11	Средства измерений температуры окружающей среды и относительной влажности воздуха: - пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры $\pm 0,2$ °C; - пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения относительной влажности воздуха $\pm 2\%$ Средства измерений напряжения и частоты переменного тока: - пределы допускаемой основной погрешности измерения напряжения переменного тока $\pm(0,003 \cdot U + 2,5 \text{ В})$, где U — измеряемое напряжение; - пределы допускаемой основной погрешности измерения частоты напряжения переменного тока $\pm(0,0002 \cdot f + 5 \text{ мГц})$, где f — измеряемая частота	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7 мод. М 1, рег. № 71394-18 Мультиметр цифровой Fluke 289, рег. № 56476-14
А.2	Средства измерений амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик: погрешность измерения ГВЗ (τ) не более 50 пс/ $\tau = \Delta\varphi /(360 \cdot \Delta p)$, где $\Delta\varphi$ — погрешность измерения фазы, град, Δp — апертура измеряемой частоты, Гц	Анализатор цепей векторный N5222A, рег. 53568-13

5.3. Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице 3.

5.4. Ввести дополнительную задержку в линию «средство поверки» — «измерительный вход» измерителя временных интервалов путем замены кабеля в случае изменения знака измеряемого значения интервала времени между измерительными каналами. При измеренном временном интервале более 0,5 с поменять стартовое и стоповое событие на входах измерителя временных интервалов местами и принять измеренное значение временного интервала с отрицательным знаком.

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 удостовериться в отсутствии сильных повреждений корпуса (выбоины, рытвины), целостности дисплея, четкости фиксации положения элементов на корпусе, четкости обозначений. Допускаются следы эксплуатации: легкие царапины и сколы краски.

7.2. Удостовериться в соответствии внешнего вида имитатора сигналов описанию и изображению, приведенному в описании типа.

7.3. Результаты поверки п. 7 считать положительными, если на корпусе имитатора сигналов нет сильных повреждений, дисплей в целостности и внешний вид имитатора сигналов соответствует описанию и изображению в описании типа.

8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1. Подготовка к поверке

8.1.1. Поверитель должен изучить техническую и эксплуатационную документацию изготовителя поверяемого СИ 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. Опробование проводить в соответствии с Приложением Б «Проверка работоспособности ИС-СИ СН-5820» ТДЦК.464938.029 РЭ.

8.2.2. Результаты поверки п. 8.2 считать положительными, если:

- выполняются условия пп. Б.2-Б.11 ТДЦК.464938.029 РЭ;
- имитатор сигналов адекватно реагирует на нажатия на сенсорную панель дисплея и вращение валкодера;
- дисплей имеет равномерную засветку и правильную цветопередачу.

9. Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1. Проверка номера версии программного обеспечения (ПО) «Специализированное программное обеспечение блока имитации СН-5820 ТДЦК.91781-01» (СПО БИ)

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. Зафиксировать номер версии СПО БИ, который отображается в окне «Параметры» → «О системе».

9.2. Сравнить идентификационные данные ПО с представленными в таблице 4.

Таблица 4 — Идентификационные данные ПО имитатора сигналов

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование	Специализированное программное обеспечение блока имитации СН-5820 ТДЦК.91781-01 (СПО БИ)
Номер версии (идентификационный номер), не ниже	1.0.1

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 относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора

10.1.1. Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 1, подключив с помощью коаксиального кабеля выход «10 МГц» опорного генератора имитатора сигналов ко входу «А» частотомера. Подать высокостабильный сигнал 10 МГц со стандарта частоты на вход опорной частоты «10 MHz» частотомера.

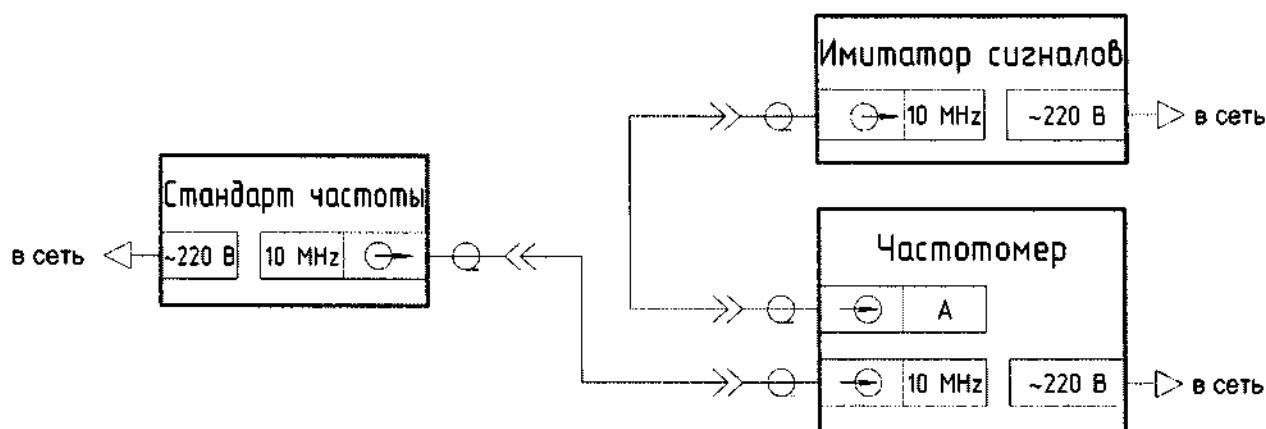


Рисунок 1 — Схема измерений для определения относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора

10.1.2. Вывести стандарт частоты на номинальный режим работы, согласно его РЭ.

10.1.3. Включить имитатор сигналов и частотомер, согласно их РЭ.

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

10.1.5. 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.

10.1.6. Результаты поверки п. 10.1 считать положительными, если значение относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора имитатора сигналов находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-8}$.

10.2. Определение среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения результата измерений частоты внутреннего опорного генератора при $\tau_{и} = \tau_{в} = 1$ с

10.2.1. Собрать схему измерений согласно рисунку 2, подключив к входам «fx» и «fy» компаратора с помощью коаксиальных кабелей выход опорного генератора имитатора сигналов («10 МГц») и выход сигнала 10 МГц со стандарта частоты.

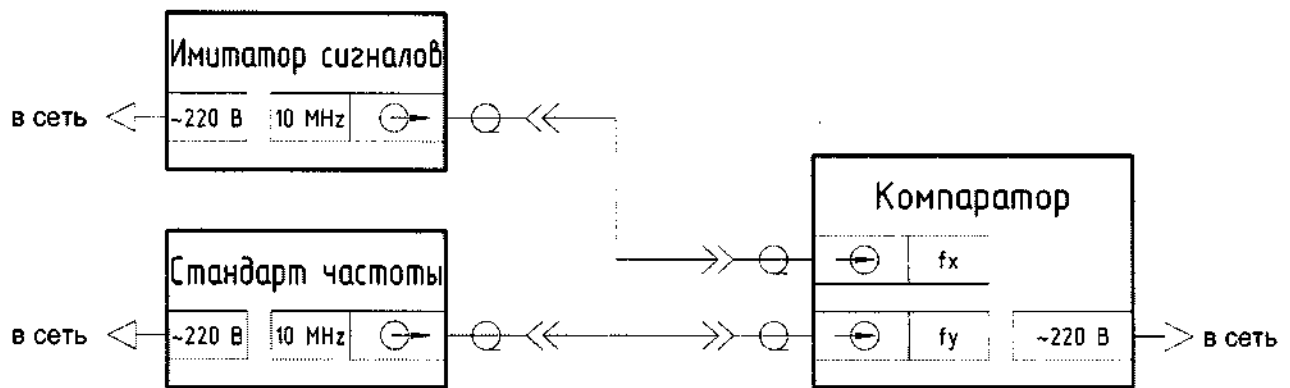


Рисунок 2 — Схема измерений для определения СКДО результата измерений частоты внутреннего опорного генератора

10.2.2. Вывести стандарт частоты на номинальный режим работы согласно его РЭ.

10.2.3. Включить имитатор сигналов и компаратор согласно их РЭ.

10.2.4. Провести определение среднего квадратического относительного двухвыборочного отклонения (СКДО) результата измерений частоты внутреннего опорного генератора имитатора сигналов при $\tau_{\text{и}} = \tau_{\text{в}} = 1$ с в соответствии с РЭ на компаратор.

10.2.5. Результаты поверки п. 10.2 считать положительными, если значение СКДО результата измерений частоты внутреннего опорного генератора имитатора при $\tau_{\text{и}} = \tau_{\text{в}} = 1$ с не более $4 \cdot 10^{-12}$.

10.3. Определение максимального уровня мощности выходного сигнала

10.3.1. Собрать схему измерений, приведённую на рисунке 3, подключив с помощью коаксиального кабеля калибровочный выход имитатора сигналов «РЧ1» к измерительному входу анализатора сигналов «IN1».

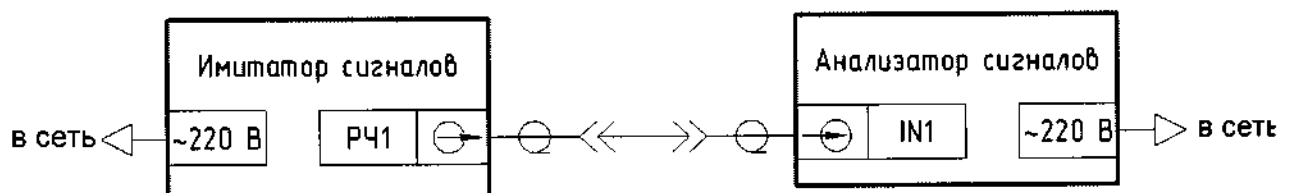


Рисунок 3 — Схема измерений для определения максимального уровня мощности выходного сигнала

10.3.2. Запустить и вывести средства на номинальный режим работы согласно их РЭ.

10.3.3. В соответствии с РЭ имитатора сигналов воспроизвести с выхода «РЧ1» сигнал со следующими параметрами:

Таблица 5 — Параметры сигнала имитации

Наименование характеристики	Значение
Навигационная система	ГЛОНАСС
Частотный диапазон	L1
Литера несущей частоты	–7
Частота сигнала, МГц	1598,0625
Уровень мощности сигнала, дБ (исх. 1 Вт)	–80
Модуляция ПСП дальномерного кода	Отключено
Модуляция цифровой информацией	Отключено
Частота доплеровского сдвига	Отсутствует

10.3.4. Последовательно измерить значение мощности сигнала $P_1, P_2, \dots, P_{192}$ с использованием анализатора сигналов при генерации сигнала в каналах имитатора с 1 по 192.

10.3.5. Измерить значение мощности сигнала с использованием анализатора сигналов при генерации сигнала на канале № 1 имитатора сигналов для каждой частотной литеры СНС ГЛОНАСС и для сигналов СНС в других частотных диапазонах согласно таблице 6 для каждого из выходов навигационного сигнала РЧ1, РЧ2, РЧ3, РЧ4 в соответствии с п. 10.3.3.

Таблица 6 — Номинальные значения выходных частот

Наименование характеристики	Значение
Номинальные значения выходных частот, МГц:	
– ГНСС ГЛОНАСС (L1) с частотным разделением	$1602 + k \cdot 0,5625$ ¹⁾
– ГНСС ГЛОНАСС (L2) с частотным разделением	$1246 + k \cdot 0,4375$ ¹⁾
– ГНСС ГЛОНАСС (L1) с кодовым разделением	1600,9950
– ГНСС ГЛОНАСС (L2) с кодовым разделением	1248,0600
– ГНСС ГЛОНАСС (L3)	1202,0250
– ГНСС GPS (L1)	1575,4200
– ГНСС GPS (L2)	1227,6000
– ГНСС GPS (L5)	1176,4500
– ГНСС Galileo (E1)	1575,4200
– ГНСС Galileo (E5a)	1176,4500
– ГНСС Galileo (E5b)	1207,1400
– ГНСС BeiDou (B1I)	1561,0980
– ГНСС BeiDou (B1C)	1575,4200
– ГНСС BeiDou (B2I)	1207,1400
– ГНСС BeiDou (B2a)	1176,4500
– ГНСС BeiDou (B3I)	1268,5200
– ГНСС QZSS (L1)	1575,4200
– ГНСС QZSS (L2)	1227,6000
– ГНСС QZSS (L5)	1176,4500
– ШДПС SBAS (L1)	1575,4200
– ШДПС SBAS (L5)	1176,4500
– СДКМ ГЛОНАСС (L1)	1575,4200
– СДКМ СВО ЭВИ (L3)	1202,0250
– СДКМ КФД (L5)	1176,4500
Примечания:	
¹⁾ k — номер литеры рабочей частоты, где $k = -7, -6, \dots, 7$	

10.3.6. Результаты поверки п. 10.3 считать положительными, если максимальный уровень мощности выходного сигнала для каждой частотной литеры СНС ГЛОНАСС и для сигналов СНС в других частотных диапазонах согласно таблице 6 на каждом РЧ-выходе составляет не менее минус 80 дБ (исх. 1 Вт).

10.4. Определение погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации

10.4.1. Выполнить операции согласно пп. 10.3.1-10.3.4.

10.4.2. Вычислить погрешность установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации по формуле:

$$\Delta = P_{\text{макс}} - P_{\text{мин}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{макс}}$ — максимальная измеренная мощность сигнала на каналах имитатора сигналов с 1 по 192;

$P_{\text{мин}}$ — минимальная измеренная мощность сигнала на каналах имитатора сигналов с 1 по 192.

10.4.3. Результаты поверки п. 10.4 считать положительными, если значения погрешности установки уровня мощности выходного сигнала между каналами имитации находятся в пределах $\pm 0,5$ дБ.

10.5. Определение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода

10.5.1. Собрать схему измерений, приведенную на рисунке 4, подключив с помощью коаксиального кабеля выход имитатора сигналов «РЧ1» ко входу навигационной аппаратуры потребителей (НАП) «АНТ» из состава рабочего эталона координат местоположения 1 разряда. Для проведения измерений использовать соединительные коаксиальные кабели C_{P1} , C_{P2} , C_{RF} с известным групповым временем запаздывания (ГВЗ) τ_{CP1} , τ_{CP2} и τ_{CRF} в соответствии со схемой на рисунке 4, в случае отсутствия известных ГВЗ измерить их согласно пп. А.1 и А.2 Приложения А. С помощью коаксиальных кабелей подать на соответствующие входы имитатора сигналов и НАП сигнал 10 МГц со стандарта частоты. С помощью коаксиальных кабелей подать на вход «А» частотомера с опцией измерения временных интервалов (ИВИ) сигнал 1 PPS с имитатора сигналов, а на вход «В» — сигнал 1 PPS с НАП.

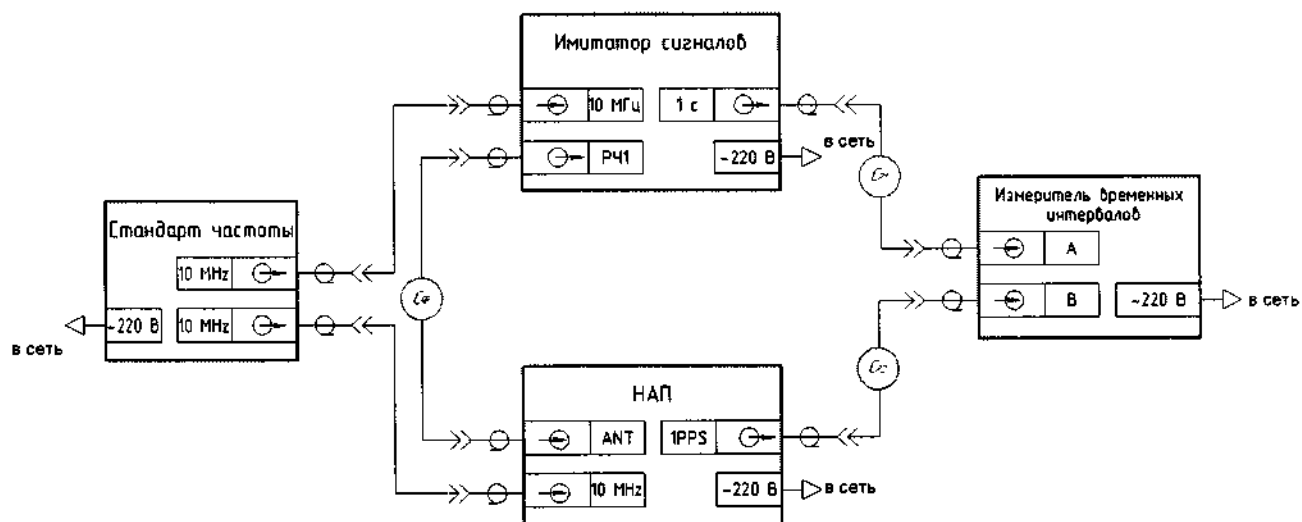


Рисунок 4 — Схема измерений для определения погрешности воспроизведения беззапросной дальности

10.5.2. Запустить и вывести средства измерений на номинальный режим работы согласно их РЭ.

10.5.3. Настроить ИВИ на измерение интервала времени между стартовым событием на входе «А» (входной импеданс 50 Ом) и стоповым событием на входе «В» (входной импеданс 50 Ом) по нарастающему фронту сигналов уровнем 1 В в соответствии с РЭ.

10.5.4. Настроить НАП в соответствии с РЭ на запись измерений текущих навигационных параметров с интервалом записи измерений одно сообщение в секунду в файл формата RINEX.

10.5.5. Настроить НАП и имитатор сигналов на работу от внешнего источника опорной частоты.

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

Таблица 7 — Параметры сценария

Наименование характеристики	Значение
Типы формируемых навигационных сигналов: – СНС ГЛОНАСС – СНС GPS – СНС Galileo – СНС BeiDou – СНС QZSS	L1OF, L1OC, L2OF, L2OC, L3OC L1 C/A, L1C, L2C, L5 E1, E5a, E5b B1I, B1C, B2I, B2a, B3I L1 C/A, L2C, L5
Продолжительность воспроизведения сценария, сут	1
Количество моделируемых НКА: – СНС ГЛОНАСС – СНС GPS, Galileo, BeiDou, QZSS	Не менее 1 на каждую литеру рабочей частоты Не менее 5 на каждую СНС
Параметры среды распространения навигационных сигналов	Тропосфера отсутствует Ионосфера отсутствует
Координаты моделируемого объекта в системе координат WGS-84: – северная широта, ° – восточная долгота, ° – высота над поверхностью эллипсоида, м	57 36 200
Модель движения объекта	Неподвижная точка

10.5.7. По окончании сценария записать среднее значение расхождения шкал времени (РШВ) τ_{AB} с экрана ИВИ.

10.5.8. Рассчитать скорректированное РШВ, с учетом известных задержек в кабелях по формуле:

$$\Delta t = \tau_{C_{RF}} - \tau_{C_{P1}} + \tau_{AB} + \tau_{C_{P2}} - \hat{\tau}, \quad (3)$$

где $\tau_{C_{RF}}$ — задержка в высокочастотном кабеле, подключенного от выхода «РЧ1» имитатора до антенного входа «ANT» НАП, с;

$\tau_{C_{P1}}$ — задержка в кабеле, подключенного от выхода метки времени «1 с» имитатора сигналов ко входу «А» ИВИ, с;

τ_{AB} — РШВ, измеренное ИВИ, с;

τ_{CP2} — задержка в кабеле, подключенного от выхода метки времени «1 PPS» НАП ко входу «В» ИВИ, с;

$\hat{\tau}$ — дополнительная задержка, введенная в п. 5.4, с. Если задержка не вводилась, $\hat{\tau} = 0$ с.

10.5.9. Выбрать из итоговых результатов измерений значения псевдодальности по фазе дальномерного кода НАП и имитатора сигналов ГНСС для каждой литеры рабочей частоты для сигналов с частотным разделением или номера не менее 5 НКА для сигналов с кодовым разделением ($\Delta R_{m,k,b}$) в каждом частотном диапазоне ($\Delta R_{m,k,b}$) для каждой СНС ($\Delta R_{m,k,b}$) согласно таблице 7.

10.5.10. Рассчитать абсолютную погрешность формирования беззапросной дальности по фазе дальномерного кода для каждой эпохи измерений по формуле:

$$\Delta R_{m,k,b,i} = R_{m,k,b,i}^{\text{ref}} - (R_{m,k,b,i} + c \cdot \Delta t), \quad (4)$$

где m — выбранная СНС;

k — выбранный частотный диапазон;

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

i — номер эпохи измерения;

$R_{m,k,b,i}^{\text{ref}}$ — сформированное имитатором сигналов ГНСС i -е значение беззапросной дальности до НКА, взятое из протокола сценария, м;

$R_{m,k,b,i}$ — измеренное эталонной НАП сигналов i -е значение беззапросной дальности до НКА, м;

Δt — скорректированное РШВ, полученное в п. 10.5.8, с;

c — скорость распространения электромагнитной волны в вакууме, м/с ($c = 299792458$ м/с).

10.5.11. Рассчитать средние значения погрешностей воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода на интервале времени наблюдения для всех частотных диапазонов сигналов всех СНС в соответствии с таблицей 7:

$$\Delta R_{m,k,b} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta R_{m,k,b,i}. \quad (5)$$

10.5.12. Рассчитать среднее значение погрешностей воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода для каждой СНС (базовые систематические погрешности) в соответствии с таблицей 7:

$$\overline{\Delta R}_{m,k} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^N \Delta R_{m,k,b}, \quad (6)$$

где m — выбранная СНС;

k — выбранный частотный диапазон;

b — 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.

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

10.5.14. Рассчитать скорректированное значение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода (отклонение погрешности на интервале времени наблюдения относительно среднего значения в выбранном частотном диапазоне) по формуле:

$$\Delta \hat{R}_{m,k,b} = \left| \Delta R_{m,k,b} - \overline{\Delta R}_{m,k} \right|. \quad (7)$$

10.5.15. Результаты поверки п. 10.5 считать положительными, если для всех литер рабочей частоты всех частотных диапазонов всех систем скорректированное значение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода не превышает 0,3 м.

10.6. Определение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты

10.6.1. Выполнить операции согласно пп. 10.5.1-10.5.8.

10.6.2. Выбрать из итоговых результатов измерений значения беззапросной дальности по фазе несущей частоты НАП и имитатора сигналов ГНСС для каждой литеры рабочей частоты для сигналов с частотным разделением или номера не менее 5 НКА для сигналов с кодовым разделением ($\Delta \Phi_{m,k,b}$) в каждом частотном диапазоне ($\Delta \Phi_{m,k}$) для каждой СНС ($\Delta \Phi_{m,k,b}$) согласно таблице 7.

10.6.3. Перевести измерения беззапросной дальности по фазе несущей частоты НАП и имитатора сигналов из [число циклов] в [м] с учетом частотной зависимости:

$$\Phi_{m,k,b,i} = K_{\Phi_{m,k,b,i}} \cdot \lambda_{m,k,b}, \quad (8)$$

где $K_{\Phi_{m,k,b,i}}$ — количество циклов фазы несущей частоты;

$\lambda_{m,k,b}$ — длина волны, м.

10.6.4. Рассчитать погрешность измерений беззапросной дальности по фазе несущей частоты на каждую эпоху:

$$\Delta \Phi_{m,k,b,i} = \Phi_{m,k,b,i}^{\text{ref}} - (\Phi_{m,k,b,i} + c \cdot \Delta t), \quad (9)$$

где $\Phi_{m,k,b,i}^{\text{ref}}$ — действительное i -е значение беззапросной дальности по фазе несущей частоты до НКА, измеренное НАП, м;

$\Phi_{m,k,b,i}$ — сформированное i -е значение беззапросной дальности по фазе несущей частоты до НКА, взятое из протокола сценария, м.

10.6.5. Рассчитать СКО случайной составляющей погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты по формуле:

$$\sigma_{\Phi_{m,k,b}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\Delta \Phi_{m,k,b,i} - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta \Phi_{m,k,b,i} \right)^2}{N-1}}. \quad (10)$$

10.6.6. Рассчитать погрешность воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты для каждой СНС в каждом частотном диапазоне по формуле:

$$\Delta \tilde{\Phi}_{m,k,b} = 3 \cdot \sigma_{\Phi_{m,k,b}}. \quad (11)$$

10.6.7. Результаты поверки п. 10.6 считать положительными, если погрешность воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты не более 0,001 м.

10.7. Определение погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности

10.7.1. Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 5, подключив с помощью коаксиального кабеля выход имитатора сигналов «РЧ1» к входу «IN1» анализатора сигналов. Подать высокостабильный сигнал 10 МГц со стандарта частоты на вход «REF In» анализатора сигналов.

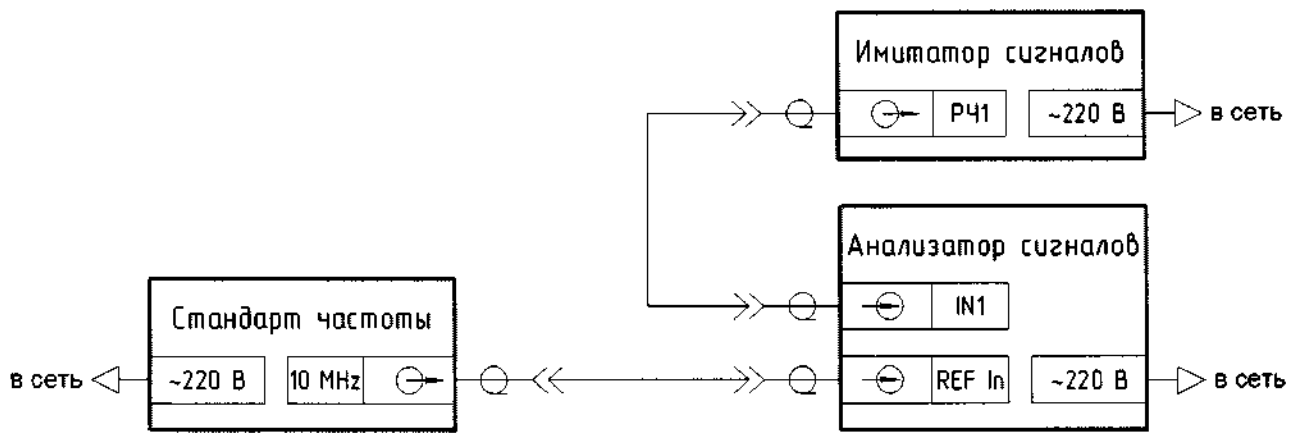


Рисунок 5 — Схема измерений для определения погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности

10.7.2. Запустить и вывести средства измерений на номинальный режим работы согласно их РЭ.

10.7.3. В соответствии с РЭ имитатора сигналов воспроизвести с выхода «РЧ1» сигнал с параметрами в соответствии с таблицей 5.

10.7.4. Изменяя на имитаторе сигналов сдвиг частоты формируемого сигнала в диапазоне 0, 8, ... 64 кГц, что соответствует скорости изменения беззапросной дальности от 0 до 12000 м/с, измерить анализатором сигналов в режиме измерений маркером частоту воспроизводимого сигнала f_i .

10.7.5. Рассчитать для каждой литеры рабочей частоты для сигналов с частотным разделением или номера не менее 5 НКА для сигналов с кодовым разделением ($\Delta V_{m,k,b}$) в каждом частотном диапазоне ($\Delta V_{m,k,b}$) для каждой СНС ($\Delta V_{m,k,b}$) согласно таблице 6 погрешность воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности по формуле:

$$\Delta V_{m,k,b} = \left(\frac{f_i^{\text{изм}} - f_0^{\text{изм}}}{f_0^{\text{изм}}} - \frac{f_i^{\text{ном}} - f_0^{\text{ном}}}{f_0^{\text{ном}}} \right) \cdot c, \quad (12)$$

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. Из значений погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности, полученных в п. 10.7.5, выбрать максимальное по модулю для каждого типа сигналов в соответствии с таблицей 6.

10.7.7. Результаты поверки п. 10.7 считать положительными, если погрешность формирования скорости изменения беззапросной дальности не превышает 0,05 м/с.

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

10.8.1. Выполнить операции согласно пп. 10.5.1-10.5.12.

10.8.2. Перевести базовые систематические погрешности, полученные в п. 10.5.12, из [м] в [с]:

$$\overline{\Delta\tau_{m,k}} = \frac{\overline{\Delta R_{m,k}}}{c}. \quad (13)$$

10.8.3. Результаты поверки п. 10.8 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 1 нс.

10.9. Определение погрешности формирования приращения координат

10.9.1. Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 6, подключив с помощью коаксиальных кабелей выходы имитатора сигналов «РЧ1», «РЧ2» к антенным входам НАП из состава рабочего эталона координат местоположения 1 разряда.

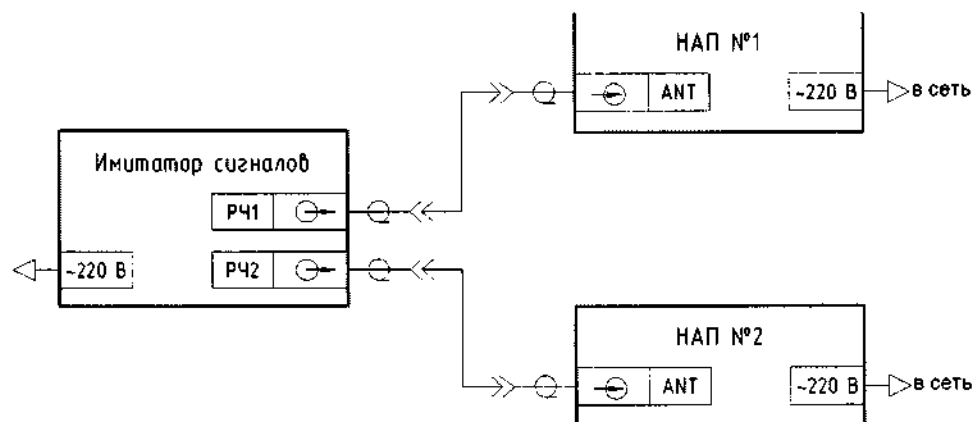


Рисунок 6 — Схема измерений для определения погрешности воспроизведения беззапросной дальности

10.9.2. Настроить НАП в соответствии с РЭ на запись измерений текущих навигационных параметров с интервалом записи измерений одно сообщение в секунду в файл формата RINEX.

10.9.3. Подготовить и запустить сценарий имитации с параметрами, приведенными в таблице 8.

Таблица 8 — Параметры сценария

Наименование характеристики	Значение	
Типы формируемых навигационных сигналов: – СНС ГЛОНАСС – СНС GPS	L1OF, L1OC, L2OF, L2OC, L3OC L1 C/A, L1C, L1P, L2C, L5	
Продолжительность воспроизведения сценария, ч	4	
Количество моделируемых НКА: – СНС ГЛОНАСС – СНС GPS	Не менее 1 на каждую литеру рабочей частоты Не менее 5	
Параметры среды распространения навигационных сигналов: – модель тропосферы – модель ионосферы	stanag (или аналог) spring (или аналог)	
Координаты моделируемых объектов в системе координат WGS-84: – северная широта, ° – восточная долгота, ° – высота над поверхностью эллипсоида, м	Мрч1(B ₁ , L ₁ , H ₁)	Мрч2(B ₂ , L ₂ , H ₂)
	56	56
	37	37.5
	200	200
	Что соответствует расстоянию между точками D ≈ 31000 м	
Модель движения объектов	Неподвижные точки	

10.9.4. Обработать полученные файлы измерений формата RINEX с эталонных НАП в геодезическом ПО из состава рабочего эталона координат местоположения 1 разряда, получив опорные значения приращений координат по каждой из координатных осей в геодезической системе координат между двумя имитируемыми объектами ΔB_i^{ref} , ΔL_i^{ref} , ΔH_i^{ref} на каждую эпоху измерений.

10.9.5. Рассчитать значения приращений координат по каждой из координатных осей в геодезической системе координат между двумя имитируемыми объектами из файлов протокола сценария ΔB_i , ΔL_i , ΔH_i на каждую эпоху измерений.

10.9.6. Рассчитать абсолютную погрешность формирования приращения широты по формуле:

$$\Delta B_i = B_i - B_{ref}, \quad (14)$$

где B_i — приращение широты из протокола сценария, °;

B_{ref} — приращение широты, полученное геодезическим ПО, °.

10.9.7. Рассчитать абсолютную погрешность формирования приращения долготы по формуле:

$$\Delta L_i = L_i - L_{ref}, \quad (15)$$

где L_i — приращение долготы из протокола сценария, °;

L_{ref} — приращение долготы, полученное геодезическим ПО, °.

10.9.8. Рассчитать абсолютную погрешность формирования приращения координат по высоте по формуле:

$$\Delta H_i = H_i - H_{ref}, \quad (16)$$

где H_i — приращение высоты из протокола сценария, м;

H_{ref} — приращение высоты, полученное геодезическим ПО, м.

10.9.9. Перевести полученные значения абсолютной погрешности формирования приращений широты и долготы из градусов в метры по формулам:

$$\Delta B'_i = \frac{\Delta B_i \cdot \pi}{180} \cdot \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 B_{ref})^3}}; \quad (17)$$

$$\Delta L'_i = \frac{\Delta L_i \cdot \pi}{180} \cdot \frac{a \cdot \cos B_{ref}}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B_{ref}}}, \quad (18)$$

где ΔB_i , ΔL_i — абсолютная погрешность формирования приращений широты и долготы на i эпоху, °;

a — большая полуось общеземного эллипсоида, м;

e — эксцентриситет общеземного эллипсоида.

10.9.10. Рассчитать погрешность формирования приращений координат в плане по формуле:

$$\Pi_i = \sqrt{\Delta B'^2_i + \Delta L'^2_i}. \quad (19)$$

10.9.11. Результаты поверки п. 10.9 считать положительными, если максимальное значения погрешности формирования приращения координат в плане не превышает в плане $2 + 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot D$, а по высоте не превышает $3 + 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot D$, где D — расстоянию между точками в сценарии имитации в мм.

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

10.10.1. Выполнить операции согласно п. 10.5.

10.10.2. Рассчитать погрешность формирования координат потребителя ГНСС:

$$P_{\text{coord}} = PDOP \cdot \max(\Delta \hat{R}_{m,k,b}), \quad (20)$$

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

10.10.3. Результаты поверки п. 10.10 считать положительными, если значение погрешности воспроизведения координат потребителя ГНСС в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011 не более 0,6 м.

10.11. Определение погрешности формирования скорости потребителя ГНСС

10.11.1. Выполнить операции согласно п. 10.7.

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

$$P_{\text{vel}} = PDOP \cdot \max(\Delta \tilde{V}_{m,k,b}). \quad (21)$$

10.11.3. Результаты поверки п. 10.11 считать положительными, если значение погрешности формирования скорости потребителя ГНСС не превышает 0,1 м/с.

10.12. Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.12.1. Результаты поверки считаются положительными при одновременном выполнении пп. 10.1-10.11 в результате поверки имитатора сигналов (метрологические характеристики имитатора сигналов соответствуют установленным при утверждении типа средства измерений).

10.12.2. При получении отрицательных результатов в одном из пп. 10.1-10.11 результаты поверки считаются отрицательными, а имитатор сигналов бракуется.

10.12.3. Метрологические характеристики должны соответствовать требованиям, предъявляемым к рабочим эталонам 2 разряда в соответствии с государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений, утвержденной приказом Росстандарта № 1374 от 07.06.2024 г. с прослеживаемостью к Государственному первичному специальному эталону координат местоположения ГЭТ 218-2022.

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.

Начальник отделения НИО-8
ФГУП «ВНИИФТРИ»

А.М. Каверин

Заместитель начальника отделения НИО-8
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Д.С. Печерица

Начальник отдела № 84
ФГУП «ВНИИФТРИ»

С.Ю. Бурцев

Начальник отдела № 89
ФГУП «ВНИИФТРИ»

А.С. Завгородний

Младший научный сотрудник
лаборатории № 841
ФГУП «ВНИИФТРИ»

А.С. Мальцев

Перечень сокращений

GPS	— global positioning system (рус., глобальная система позиционирования, разработанная США)
PDOP	— position dilution of precision (рус., точность местоположения)
PPS	— pulse per second (рус., импульс в секунду)
REF	— reference (рус., опорный сигнал)
RINEX	— receiver independent exchange format (рус., независимый от приемника формат обмена)
ГЛОНАСС	— глобальная навигационная спутниковая система Российской Федерации
ГНСС	— глобальная навигационная спутниковая система
ГЭТ	— государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени UTC(SU)
МП	— методика поверки
НАП	— навигационная аппаратура потребителей
НКА	— навигационный космический аппарат
ОС	— операционная система
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
СКДО	— среднее квадратическое двухвыборочное отклонение
СНС	— спутниковая навигационная система
ЭФИР	— комплекс эталонный формирования и измерения радионавигационных параметров
ШДПС	— широкозонная дифференциальная подсистема
ЭФИР	— комплекс эталонный формирования и измерения радионавигационных параметров

Приложение А

(вспомогательное)

Измерение ГВЗ в коаксиальных кабелях

А.1 Измерение ГВЗ в коаксиальных кабелях C_{P1} и C_{P2} , передающих импульсный сигнал частотой 1 Гц

А.1.1 Включить ИВИ и настроить его на измерение интервала времени между стартовым событием на входе «А» (входной импеданс 50 Ом) и стоповым событием на входе «В» (входной импеданс 50 Ом) по нарастающему фронту сигналов уровнем 1 В в соответствии с его РЭ.

А.1.2 Подключить к ИВИ на вход «А» импульсный сигнал частотой 1 Гц от стандарта частоты. Поочередно для каждого из кабелей C_{P1} и C_{P2} провести на ИВИ 100 измерений задержки импульсного сигнала частотой 1 Гц через Т-образный разветвитель в соответствии со схемой, представленной на рисунке А.1.

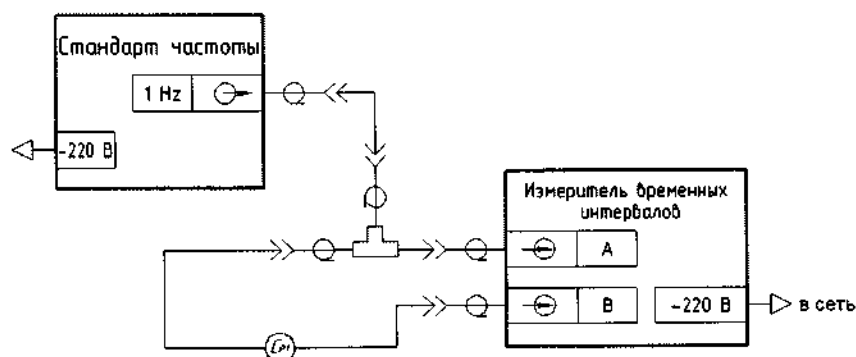


Рисунок А.1 — Схема измерения ГВЗ в коаксиальном кабеле

А.1.3 Принять ГВЗ $\tau_{C_{P1}}$ и $\tau_{C_{P2}}$ импульсного сигнала частотой 1 Гц в кабелях C_{P1} и C_{P2} равным среднему значению результатов проведенных измерений.

А.2 Измерение ГВЗ в коаксиальном кабеле C_{RF} , передающем навигационный сигнал

А.2.1 Определить ГВЗ $\tau_{C_{RF}}$ в высокочастотном кабеле C_{RF} , подключаемом между выходом «РЧ1» имитатора сигналов и входом «ANT» НАП, с использованием анализатора цепей по результатам измерения коэффициента передачи S_{21} по формуле:

$$\Delta t = - \frac{[\varphi(S_{21,i+1}) - \varphi(S_{21,i})]}{[2\pi(f_{i+1} - f_i)]}, \quad (\text{А.1})$$

где $\varphi(S_{21,i})$ — фаза на частоте f_i , рад, равная $\varphi(S_{21,i}) = \arctan\left(\frac{\text{Im}(S_{21,i})}{\text{Re}(S_{21,i})}\right)$.

А.2.2 Измерения выполнить во всех используемых диапазонах частот формируемых навигационных сигналов ГНСС в соответствии с таблицей 6.

А.2.3 Принять ГВЗ навигационного сигнала в кабеле равным среднему значению результатов проведенных измерений.