

СОГЛАСОВАНО

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

_____ А.Н. Щипунов



_____ » 12 _____ 2020 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ
И ЭФЕМЕРИДНО-ВРЕМЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ СВО ЭВИ

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

651-20-066 МП

р.п. Менделеево

2020 г.

Содержание

1 Общие сведения	3
2 Перечень операций поверки	3
3 Метрологические и технические требования к средствам поверки.....	4
4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку	5
5 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки	5
6 Требования к условиям проведения поверки	5
7 Внешний осмотр средства измерений	6
8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений.....	6
8.1 Подготовка к поверке.....	6
8.2 Опробование	6
9 Проверка программного обеспечения средства измерений.....	7
10 Определение метрологических характеристик средства измерений	7
10.1 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности определения координат местоположения в государственной геоцентрической системе координат за счет космического сегмента с использованием данных, рассчитанных СВО ЭВИ, в апостериорном режиме на любом суточном интервале времени.....	7
10.2 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе дальномерного кода.....	10
10.3 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе несущей частоты	11
11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям.....	11
12 Оформление результатов поверки	12
Перечень сокращений	13

1 Общие сведения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на систему высокоточного определения навигационной и эфемеридно временной информации СВО ЭВИ (далее по тексту — СВО ЭВИ), изготовленную АО «НПК «СПП», 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 53 и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

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

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

1.4 Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений.

2 Перечень операций поверки

2.1 При поверке выполняют операции, представленные в таблице Таблица 1.

Таблица 1 — Перечень операций, выполняемых при поверке

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение поверки	
		при первичной поверке (или после ремонта)	при периодической поверке
1 Внешний осмотр средства измерений	7	да	да
2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8	да	да
3 Проверка программного обеспечения средства измерений	9	да	да
4 Определение метрологических характеристик средства измерений	10		
4.1 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности определения координат местоположения в государственной геоцентрической системе координат за счет космического сегмента с использованием данных, рассчитанных СВО ЭВИ, в апостериорном режиме на любом суточном интервале времени	10.1	да	да

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение поверки	
		при первичной поверке (или после ремонта)	при периодической поверке
4.2 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе дальномерного кода	10.2	да	да
4.3 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе несущей частоты	10.3	да	да
5 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	11	да	да

2.2 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций, приведенных в таблице 1 поверка прекращается, и СВО ЭВИ 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 Метрологические и технические требования к средствам поверки

3.1 Рекомендуемые средства поверки СВО ЭВИ приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Средства измерений, используемые при поверке

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10.1	Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения частоты не более $\pm 1 \cdot 10^{-13}$, среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение частоты при времени измерения 1 сут, не более $\pm 7,0 \cdot 10^{-16}$	Государственный рабочий эталон единиц времени и частоты 1 разряда согласно государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, утвержденной Приказом Росстандарта № 1621 от 31.07.2018

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10.1	Предел допускаемого медианного значения абсолютной погрешности определения эфемерид навигационных космических аппаратов 0,035 м	Система контроля и подтверждения характеристик радионавигационного поля системы ГЛОНАСС в интересах гражданских потребителей первой очереди
	Предел допускаемой погрешности воспроизведения/измерения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода не более 0,05 м, предел допускаемой погрешности воспроизведения/измерения беззапросной дальности по фазе несущей частоты не более 0,002 м	Рабочий эталон координат местоположения 1 разряда согласно государственной поверочной схеме для координатно-временных средств измерений, утвержденной приказом Росстандартом № 2831 от 29.12.2018

3.2 Все средства поверки, применяемые при поверке СВО ЭВИ, должны быть исправны, аттестованы или поверены.

3.3 Вместо указанных в таблице 2 средств поверки допускается применять другие аналогичные, обеспечивающие определение метрологических характеристик СВО ЭВИ с требуемой точностью.

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 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

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

6 Требования к условиям проведения поверки

6.1 При проведении поверки СВО ЭВИ должны соблюдаться следующие условия:

- напряжение питания от сети переменного тока частотой от 48 до 52 Гц, В..... 220 ± 22.

- для аппаратуры, размещаемой в помещении:

а) температура окружающего воздуха, °С..... от 5 до 40;

б) повышенная относительная влажность воздуха при температуре 20 °С, %.....	80
- для аппаратуры, размещаемой на открытом воздухе:	
а) температура окружающего воздуха, °С.....	от минус 40 до 40;
б) повышенная относительная влажность воздуха при температуре 25 °С, %.....	98

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 измерения, применяемых при поверке.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 При проведении внешнего осмотра поверяемого средства измерений проверить на нем отсутствие механических повреждений и ослабления элементов, четкость фиксации их положения, чёткость обозначений, чистоту и исправность разъёмов и гнезд.

7.2 Результаты поверки считать положительными, если на СВО ЭВИ отсутствуют механические повреждения и ослабления элементов, фиксация их положения чёткая, разъёмы и гнезда 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 СВО ЭВИ 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 Работоспособность СВО ЭВИ проверяется работоспособностью его составных частей.

8.2.2 Порядок работы и проверка работоспособности изделия навигационной аппаратуры потребителя ИБПА.464349.008 приведены в ИБПА.464349.008 РЭ

8.2.3 Порядок работы и проверка работоспособности изделия подсистемой доставки информации ИБПА.466535.042 приведены в ИБПА.466535.042 РЭ

8.2.4 Порядок работы и проверка работоспособности изделия центр управления системой – основной ИБПА.466535.043 приведены в ИБПА.466535.043 РЭ

8.2.5 Порядок работы и проверка работоспособности изделия центра управления системой – резервный ИБПА.466535.043 приведены в ИБПА.466535.138 РЭ

8.2.6 Порядок работы и проверка работоспособности изделия сети измерительной станций ИБПА.468166.003 приведены в руководствах его составных частей:

- ИБПА.466535.147 РЭ;
- ИБПА.466535.137 РЭ;
- ИБПА.464346.008 РЭ;
- МГФК.411733.030 РЭ.

8.2.7 Результаты поверки считать положительными, если составные части СВО ЭВИ работоспособны.

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 Определить идентификационные данные ПО СВО ЭВИ в соответствии с руководством оператора ИБПА.01757.

9.2 Идентификационные данные ПО представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Идентификационные данные ПО СВО ЭВИ

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование	ИБПА.01757
Наименование программы и исполняемого файла	Комплекс программ предварительной обработки и управления
Номер версии (идентификационный номер), не ниже	01

9.3 Результаты поверки считать положительными, если идентификационные данные ПО СВО ЭВИ соответствуют данным, указанным в таблице 3.

10 Определение метрологических характеристик средства измерений

10.1 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности определения координат местоположения в государственной геоцентрической системе координат за счет космического сегмента с использованием данных, рассчитанных СВО ЭВИ, в апостериорном режиме на любом суточном интервале времени

10.1.1 Для расчета погрешности определения местоположения в государственной геоцентрической системе координат за счет космического сегмента в апостериорном режиме используется эфемеридно-временная информация функциональных дополнений и эталонная ЭВИ.

10.1.2 В обработке используются данные без пропусков в эфемеридно-временной информации СВО ЭВИ, так же, как и в эталонной эфемеридно-временной информации. Файлы ЭВИ должны быть в международном формате «*.sp3» и содержать данные на моменты времени на интервале от 0 ч 00 мин до 23 ч 45 мин текущих суток с шагов 15 мин.

10.1.3 Исходными данными для проведения расчётов являются:

- оцениваемая ЭВИ в формате «*.sp3» на заданный интервал оценивания;
- эталонная ЭВИ — апостериорная ЭВИ СКПХ в формате «*.sp3» на заданный интервал оценивания;
- интервал оценивания не менее 8 сут;
- минимальный угол видимости НКА приемником γ_m не менее 5° ;
- максимальный пространственный геометрический фактор $PDOP_{\max}$ — не более 2.

10.1.4 Рассчитать по эфемеридам траекторию движения каждого НКА на заданном интервале времени с использованием интерполяционного полинома.

10.1.5 Рассчитать уход бортовой шкалы НКА на момент излучения сигнала с использованием линейной интерполяции:

$$T(t) = T(t_{i-1}) + \frac{T(t_i) - T(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \cdot (t - t_{i-1})$$

где $T(t)$ — поправка к бортовой шкале времени НКА на момент излучения сигнала;

t_{i-1}, t_i — моменты времени, содержащие значения поправок шкал времени НКА;
 $T(t_{i-1}), T(t_i)$ — значения поправок шкал времени НКА из файла «*.sp3».

10.1.6 Рассчитать значения координат и шкалы времени НКА по эталонным ($x_{НКА(э)}$, $y_{НКА(э)}$, $z_{НКА(э)}$), $T_{НКА(э)}$ и оцениваемым ($x_{НКА(о)}$, $y_{НКА(о)}$, $z_{НКА(о)}$), $T_{НКА(о)}$ ЭВИ на интервале оценивания.

10.1.7 Рассчитать разность эталонных и оцениваемых координат ($\Delta x_{НКА}$, $\Delta y_{НКА}$, $\Delta z_{НКА}$) и поправок шкал времени $\Delta T_{НКА}$ для момента t на заданном интервале оценивания

$$\Delta x_{НКА}(t) = x_{НКА(о)}(t) - x_{НКА(э)}(t),$$

$$\Delta y_{НКА}(t) = y_{НКА(о)}(t) - y_{НКА(э)}(t),$$

$$\Delta z_{НКА}(t) = z_{НКА(о)}(t) - z_{НКА(э)}(t),$$

$$\Delta T_{НКА}(t) = T_{НКА(о)}(t) - T_{НКА(э)}(t).$$

10.1.8 Выполнить перевод разности эталонных (апостериорных) и оцениваемых (рассчитанных) координат (эфемерид) ($\Delta x_{НКА}(t)$, $\Delta y_{НКА}(t)$, $\Delta z_{НКА}(t)$) в формат по радиусу, по бинормали, по нормали ($\Delta R_{НКА}(t)$, $\Delta B_{НКА}(t)$, $\Delta N_{НКА}(t)$) для момента t :

$$\vec{r}(t) = [\Delta x_{НКА}(t) \quad \Delta y_{НКА}(t) \quad \Delta z_{НКА}(t)]^T, \quad \vec{V}(t) = [\Delta V_x(t) \quad \Delta V_y(t) \quad \Delta V_z(t)]^T —$$

радиус-вектор координат и скорости НКА;

$$\|\vec{r}(t)\| = \sqrt{\Delta x_{НКА}^2(t) + \Delta y_{НКА}^2(t) + \Delta z_{НКА}^2(t)};$$

$$\|\vec{V}(t)\| = \sqrt{\Delta V_x^2(t) + \Delta V_y^2(t) + \Delta V_z^2(t)};$$

$$\Delta R_{НКА}(t) = \frac{\vec{r}(t)}{\|\vec{r}(t)\|} — \text{по радиусу};$$

$$\Delta B_{НКА}(t) = \frac{\vec{r}(t) \times \vec{V}(t)}{\|\vec{r}(t) \times \vec{V}(t)\|} — \text{по бинормали};$$

$$\Delta N_{НКА}(t) = \frac{\Delta B_{НКА}(t) \times \vec{r}(t)}{\|\Delta B_{НКА}(t) \times \vec{r}(t)\|} \text{ по нормали.}$$

10.1.9 На каждый момент времени для каждого пригодного НКА определить мгновенные погрешности псевдодальности:

$$URE_{НКА}(t) = \sqrt{(0,98 \cdot \Delta R_{НКА}(t) + c \cdot \Delta T_{НКА}(t))^2 + 0,0225 \cdot (\Delta B_{НКА}^2(t) + \Delta N_{НКА}^2(t))}.$$

10.1.10 Рассчитать СКО погрешности определения координат местоположения за счет космического сегмента на интервале оценивания

$$\Delta_{НАП} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (URE_i - \overline{URE})^2}$$

где n — число рассчитанных значений URE для всех НКА на интервале оценивания,

\overline{URE} — среднее арифметическое значение URE на интервале оценивания.

10.1.11 Рассчитать СКО погрешности определения координат местоположения за счет космического сегмента на интервале оценивания с учетом пространственного геометрического фактора:

$$\Delta = PDOP \cdot \Delta_{\text{НАП}}.$$

где $PDOP$ — пространственный геометрический фактор, $PDOP = 2$

10.1.12 Результаты поверки по п. 10.1 считать положительными, если СКО случайной составляющей погрешности определения координат местоположения в государственной геоцентрической системе координат за счет космического сегмента с использованием данных, рассчитанных СВО ЭВИ, в апостериорном режиме на любом суточном интервале времени не более 0,05 м.

10.2 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе дальномерного кода

10.2.1 Провести измерения приемно-измерительными устройствами из состава СВО ЭВИ на интервале времени длительностью 1 сут, получив файлы измерений в формате RINEX.

10.2.2 Выбрать измерения псевдодальности по фазе дальномерного кода и несущей частоты для СНС ГЛОНАСС в диапазоне L1OF с литерой 0 для углов места не менее 20° .

10.2.3 Рассчитать значение комбинации:

$$MP_{C1i} = R_{C1i} - \Phi_{L1i} - 2 \cdot I_{L1i},$$

где i — номер эпохи;

R_{C1i} — измерение псевдодальности по фазе дальномерного кода;

Φ_{L1i} — измерение псевдодальности по фазе несущей частоты;

$I_{L1i} = (\Phi_{L1i} - \Phi_{L2i}) \cdot \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}$ — ионосферная задержка, оцененная по изме-

рениям фазы несущей частоты в диапазонах $L1$ (Φ_1) и $L2$ (Φ_1) на частотах f_1 и f_2 соответственно.

10.2.4 Рассчитать СКО случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе дальномерного кода по формуле:

$$\sigma_{RIC} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^N \left(MP_{CICi} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MP_{CICi} \right)^2},$$

где j — номер эпохи;

N — число измерений.

10.2.5 Выполнить пп. 10.2.3-10.2.4 для каждого принимаемого типа сигнала (ГНСС, номер НКА, частотный диапазон, селективность) для каждого файла RINEX.

10.2.6 Результаты поверки по п. 10.2 считать положительными, если максимальное значение из всех рассчитанных СКО случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальностей по фазе дальномерного кода не более 0,3 м.

10.3 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе несущей частоты

10.3.1 Провести измерения приемно-измерительными устройствами из состава СВО ЭВИ на интервале времени длительностью 1 сут, получив файлы измерений в формате RINEX.

10.3.2 Выбрать измерения псевдодальности по фазе несущей частоты для СНС ГЛОНАСС в диапазонах L1OF и L2OF с литерой 0.

10.3.3 Рассчитать разности измерений псевдодальностей по фазе несущей частоты открытых сигналов между диапазонами L1 и L2 для углов места не менее 20°:

$$\Phi_{L1-L2i} = \Phi_{L1i} - \Phi_{L2i}$$

10.3.4 Рассчитать СКО случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальности по фазе несущей частоты по формуле:

$$\sigma_{\Phi L1} = \sqrt{\frac{1}{8 \cdot (N-1)} \cdot \sum_{j=1}^N \left(\Phi''_{L1-L2}(t)_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Phi''_{L1-L2}(t)_i \right)^2},$$

где $\Phi''_{L1}(t)$ — вторая производная измерений псевдодальности по фазе несущей частоты от времени, рассчитанная на i -ю эпоху.

10.3.5 Выполнить пп. 10.3.1-10.3.4 для каждого принимаемого типа сигнала (ГНСС, номер НКА, селективность доступа) для каждого файла RINEX.

10.3.6 Результаты поверки по п. 10.3 считать положительными, если максимальное значение из всех рассчитанных СКО случайной составляющей инструментальной погрешности измерений псевдодальностей по фазе несущей частоты не более 0,002 м.

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 При одновременном выполнении пп. 10.1.12, 10.2.6, 10.3.6 в результате поверки СВО ЭВИ:

- метрологические характеристики СВО ЭВИ соответствуют установленным при утверждении типа средства измерений;

- результаты поверки считаются положительными.

11.2 При получении отрицательных результатов в одном из пп. 10.1.12, 10.2.6, 10.3.6 результаты поверки считаются отрицательными, а СВО ЭВИ бракуется.

12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты поверки СВО ЭВИ подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

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

12.3 Результаты поверки по требованию заказчика записываются на оборотной стороне свидетельства о поверке или оформляются отдельным приложением к свидетельству.

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

Заместитель начальника НИО-8
по научной работе ФГУП «ВНИИФТРИ»

В.Н. Федотов

Начальник отдела
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Д.С. Печерица

Начальник лаборатории
ФГУП «ВНИИФТРИ»

С.Ю. Бурцев

Старший научный сотрудник
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Е.А. Карауш

Перечень сокращений

RINEX	— receiver independent exchange format, формат обмена данными, независимый от получателя
ГЛОНАСС	— глобальная навигационная спутниковая система (Российская Федерация)
ГНСС	— глобальная навигационная спутниковая система
ГЭТ	— государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени
СВО ЭВИ	— комплекс геодезического мониторинга
МП	— методика поверки
НКА	— навигационный космический аппарат
ПО	— программное обеспечение
РЭ	— руководство по эксплуатации
СКО	— среднее квадратическое отклонение
СКПХ	— система контроля и подтверждения характеристик радионавигационного поля системы ГЛОНАСС в интересах гражданских потребителей