

УТВЕРЖДАЮ

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

А.Н. Щипунов

2015 г.



**Двухэлементный радиоинтерферометр
на узлах колокации – «ДР УК»**

**Методика поверки
ИЕЛГ.464937.100 МП**

ч.р. 62488-15

р.п. Менделеево

2015 г.

Настоящая методика поверки распространяется на Двухэлементный радиоинтерферометр на узлах колокации – «ДР УК» (далее ДР УК), предназначенный для измерений параметров сигналов от внегалактических радиоисточников, привязки полученных результатов измерений к земной системе координат ITRF и синхронизации со шкалой времени UTC(SU). Методика устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверки.

Межповерочный интервал ДР УК – 3 года.

Перед проведением поверки необходимо предварительно ознакомиться с руководством по эксплуатации ДР УК.

1 Операции поверки

1.1 При проведении поверки ДР УК должны выполняться операции, приведенные в таблице 1.

Таблица 1.

Наименование операции	Номер пункта документа по поверке	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	6.1	да	да
Опробование	6.2	да	да
Выполнение тестов, предусмотренных документацией на радиотелескоп и ДР УК в целом.	6.2.1	да	да
Определение рабочих диапазонов частот	6.3.1	да	нет
Определение ширины полосы частот аналого-цифрового преобразования приемных трактов радиотелескопов	6.3.2	да	нет
Определение эквивалентных шумовых температур приёмных систем радиотелескопов по входу облучателя.	6.3.3	да	да
Определение погрешности привязки опорной точки радиотелескопов к локальной геодезической сети. Определение отклонения антенного выноса (наименьшего расстояния между осями вращения антенны) от номинального значения	6.3.4	да	да
Определение погрешности привязки локальной геодезической сети радиотелескопа к земной системе координат	6.3.5	да	да
Определение отклонения шкалы времени радиотелескопов от UTC(SU) Определение погрешности хранения шкалы времени UTC(SU) радиотелескопом	6.3.6	да	да

Наименование операции	Номер пункта документа по поверке	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Определение случайной составляющей погрешности измерений интервалов времени (групповых задержек) (СКО)	6.3.7	да	да

2 Средства поверки

2.1. При проведении поверки системы должны применяться следующие средства измерений, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование средства измерений и вспомогательного оборудования	Номер пункта документа по поверке	Технические и метрологические характеристики средств измерений
Анализатор сигналов N9030A		Диапазон частот 3 Гц – 44 ГГц, Предел допускаемой относительной погрешности воспроизведения частоты опорного генератора $\pm 1,55 \cdot 10^{-7}$
Осциллограф цифровой запоминающий SDA 820		Полоса пропускания 20 ГГц, время нарастания 16 пс, погрешность опорного генератора $\pm 10^{-6}$
Генератор сигналов SMB 100A		Диапазон частот 9 кГц – 2.2 ГГц
Комплекс средств калибровки радиотелескопов по шумовой температуре (КСК РШТ) – эталон единицы шумовой температуры – кельвин – в диапазоне частот от 2 до 40 ГГц. КСК РШТ S_E , К 1,8 (S диапазон), 2,0 (X диапазон), 2,2 (Ka диапазон).	6.3.3	Диапазон шумовых температур от 79 до 310 К, суммарное СКО результатов измерений ШТ ШНГШ из состава КСК РШТ S_E , К 1,8 (S диапазон), 2,0 (X диапазон), 2,2 (Ka диапазон).
Электронные тахеометры ТСА2003 зав. №№ 441675, 441678 и электронный тахеометр ТДА5005 зав. № 440117 – рабочие эталоны 1-го разряда	6.3.4, 6.3.5	Измерение длин: $D = 24 \div 3000$ м; ПГ = $\pm(0,2 + 0,5 \times 10^{-7} D)$ мм; Измерение углов: - горизонтальных - $0 \div 360^\circ$; ПГ = 0,5"; - вертикальных - минус $15^0 \div$ плюс 90° ; ПГ = 0,5"
Электронный нивелир DNA-03	6.3.4, 6.3.5	ПГ = 0,3 мм на км двойного хода

Наименование средства измерений и вспомогательного оборудования	Номер пункта документа по поверке	Технические и метрологические характеристики средств измерений
Двухкоординатный инклинометр Nivel-201	6.3.4, 6.3.5	Диапазон - 8', ПГ = 0,5"
Комплект приемников ГНСС JNS SIGMA-G3TAJ - рабочий эталон 2-го разряда	6.3.4, 6.3.5	Измерение базисных линий: $D = 0 \div 30$ км, ПГ = $\pm(0,2 + 0,5 \times 10^{-7} D)$ мм
Комплект приемников ГНСС Topcon Net-G3 - рабочий эталон 2-го разряда	6.3.4, 6.3.5	Измерение базисных линий: $D = 0 \div 30$ км, ПГ = $\pm(0,2 + 0,5 \times 10^{-7} D)$ мм
Электронные метеостанции Reinhardt DFT 1MV	6.3.4, 6.3.5	Измерения: - температуры ПГ = 0,1 °С; - давления ПГ = 0,1 гПа; - отн. влажности ПГ = 1%
Адаптеры – геодезические платформы ГП-3	6.3.4, 6.3.5	Допускаемое отклонение центров приборных площадок от вертикали $\pm 0,04$ мм
Аппаратура для высокоточного сравнения шкал времени GTR51	6.3.6	Диапазон частот и тип принимаемых сигналов GPS/ГЛОНАСС: C/A, P1 в L1, P1, P2 в L2, и P3. Погрешность сравнения шкал времени не более 2,0 нс)
Частотомер универсальный CNT-90	6.3.6	Погрешность измерения интервалов времени не более $\pm 1,0$ нс
Стандарт частоты и времени водородный Ч1-76А	6.3.6	Погрешность определения расхождения шкал времени ГЭВЧ и пространственно удаленных объектов не более 2 нс

2.2 Все средства измерений должны иметь действующий документ о поверке, эталоны должны быть аттестованы и иметь действующие свидетельства об аттестации.

2.3 Допускается применять другие средства поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик ДР УК с требуемой точностью (технические и метрологические характеристики которых не уступают указанным в таблице 2).

2.4 Вспомогательные материалы, необходимые для проведения поверки и нормы их расхода, приведены в таблице 3

Таблица 3

Наименование материала	Нормы расхода, л
Сосуд Дьюара для жидкого азота	40

3 Условия поверки

3.1. При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия.

3.1.1 Для аппаратуры, расположенной в отапливаемых помещениях:

- температура воздуха (20 ± 5) °С;
- атмосферное давление (100 ± 4) кПа (750 ± 30) мм рт. ст.;
- относительная влажность воздуха до 80 % при температуре окружающего воздуха (20 ± 5) °С;
- напряжение сети (220 ± 5) В; частота сети ($50 \pm 2,5$) Гц.

3.1.2 Для аппаратуры, расположенной на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях – в соответствии с эксплуатационной документацией на систему и на средства поверки.

3.1.3. При проведении поверки в части п.6.3.1, п.6.3.2:

3.1.3.1. Поверка измерительного канала проводится на открытом воздухе. При поверке соблюдают условия, указанные в эксплуатационной и технической документации на систему и на средства поверки.

3.1.3.2. Рекомендуемые климатические условия проведения операций поверки: - рабочий диапазон температур – от 10 °С до 25 °С;

- атмосферная влажность (% гН) – от 30 % до 80 %.
- особые условия – отсутствие осадков, отсутствие прямого солнечного освещения.

3.1.3.3. Перед проведением поверки выполняют следующие подготовительные работы:

- проверку наличия комплекта вспомогательного оборудования и эталонов, достаточных для проведения поверки;
- проверку наличия действующих свидетельств о поверке на средства поверки.

3.1.3.4. Для проведения поверочных работ предприятие-владелец системы предоставляет:

- пункты опорной геодезической сети (ОГС) радиотелескопа (РТ);
- каталог высот этих пунктов;
- данные ранее выполненных геодезических измерений;
- приспособления для установки оборудования на полуосях угломестной монтровки РТ и приспособления для определения центров вращения полуосей.

Должна быть обеспечена возможность установки опорно-поворотных устройств (ОПУ) РТ в нужные для проведения измерений положения.

4 Требования к безопасности и квалификации персонала

4.1 При выполнении операций поверки должны быть соблюдены все требования техники безопасности, регламентированные ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.0380-82, ГОСТ 12.3.0019-80, действующими «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а также всеми действующими местными инструкциями по технике безопасности.

4.2. При выполнении операций поверки в части п.6.3.1, п.6.3.2 должны быть дополнительно соблюдены:

- требования по технике безопасности, указанные в ЭД на систему и используемые средства поверки;

- правила по технике безопасности при производстве топографо-геодезических работ ПТБ-73 (Изд. «Недра», М.,1973 г.);

- требования ГОСТ 12.1.040;

- требования ГОСТ 12.2.007.0.

4.3. К выполнению операций поверки и обработке результатов наблюдений могут быть допущены только лица, являющиеся поверителями.

5 Подготовка к поверке

5.1 На первичную поверку представляют:

ДР УК с руководством по эксплуатации,

5.2 На периодическую поверку дополнительно к перечню по п. 5.1 представляется свидетельство о предыдущей поверке ДР УК.

5.3 Во время подготовки к поверке поверитель знакомится с руководством по эксплуатации на ДР УК и ее составные части, подготавливает все материалы и средства измерений необходимые для проведения поверки, а также проверяет выполнение условий поверки, установленных в разделе 3.

6 Проведение поверки

6.1. Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра установить:

- соответствие комплектности ДР УК руководству по эксплуатации;

- отсутствие механических и электрических повреждений, влияющих на работу ДР УК

- четкость переключений и фиксаций органов управления, а также плавность их хода;

6.2. Опробование

Опробованию подвергаются как оба радиотелескопа, так и ДР УК в целом. Условия измерений приведены в эксплуатационной документации

6.2.1. Выполнить тесты опробования, предусмотренные документацией на радиотелескоп и ДР УК в целом.

Проводится весь цикл работ по планированию, проведению наблюдений и корреляционной обработке двухстанционных серий наблюдений длительностью 1 час.

Системой планирования формируется и передается на обсерватории комплекса средств РСДБ программа наблюдений.

Проводятся РСДБ наблюдения. Данные наблюдений передаются из обсерваторий в ЦКО РАН по ВОЛС, в режиме e-РСДБ.

Проводится первичная обработка данных на корреляторе с получением NGS-файла, далее проводится вторичная обработка в ЦОАД РАН.

В ЦОАД РАН также проводится вторичная обработка NGS-файлов полученных по заранее проведенной серии наблюдений.

В протоколе поверки фиксируются следующие показатели:

время начала и окончания проведения наблюдений;

получение корреляционных откликов по всем сканам, включенным в программу сеанса;

получение NGS-файлов по каждому сеансу наблюдений;

полученные оценки Всемирного времени и их формальные ошибки;

время получения оценок Всемирного времени.

Положительным результатом проверки является бесперебойное выполнение всех этапов проверки. Результаты считать положительными, если все этапы выполнения проверки прошли бесперебойно.

6.3 Определение (контроль) метрологических характеристик

6.3.1 Определение рабочих диапазонов частот

Определение соответствия рабочих диапазонов частот принимаемого сигнала криоэлектронных приемных фокальных блоков (КПФБ) радиотелескопов осуществляется сравнением измеренных анализатором сигналов N9030A значений параметров с требуемыми значениями.

Результаты поверки считать положительными, если рабочие диапазоны частот для S-диапазона включают полосы частот 2,2 - 2,6 ГГц, для X-диапазона включают полосы частот

7,0 - 9,5 ГГц, для Ка-диапазона включают полосы частот 28 - 34 ГГц.

6.3.2 Определение ширины полосы частот аналого-цифрового преобразования в приемных трактах радиотелескопов.

6.3.2.1 Для проведения измерений необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 1.

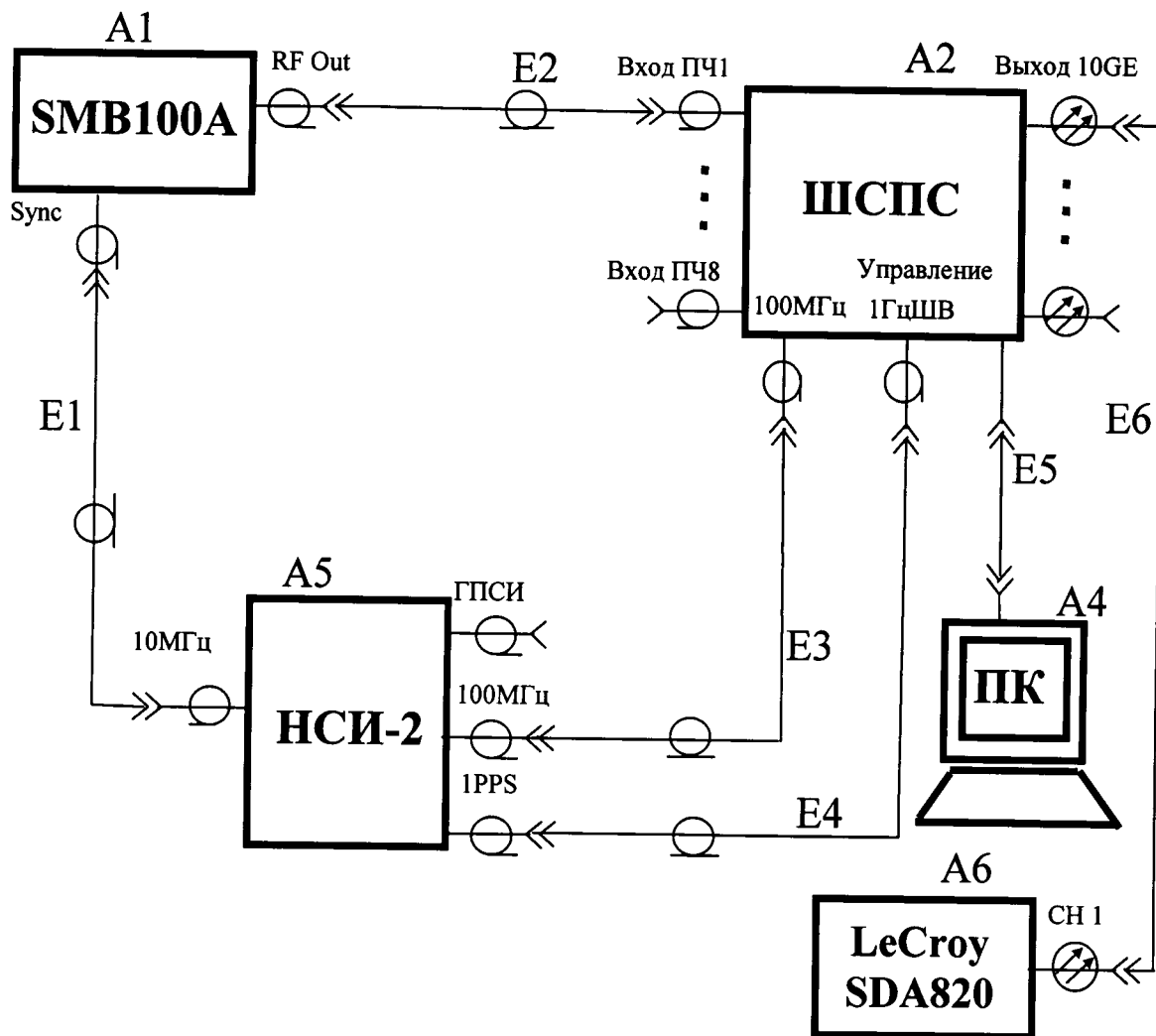


Рисунок 1 – Схема проведения измерений

6.3.2.2 В соответствии с теоремой Котельникова (теоремой отсчетов) полоса сигналов Δf при аналого-цифровом преобразовании связана с частотой дискретизации f_D соотношением: $\Delta f = f_D/2$. В ШСПС при аналого-цифровом преобразовании спектр сигнала переносится из 3-й зоны Найквиста (1024 – 1536 МГц) в 1-ю зону (0 – 512 МГц), то есть частота входного сигнала $f_{вх.}$ преобразуется в $f_{вых.} = f_{вх.} - f_D$. В интерфейсном окне программы управления ШСПС отображаются 1024 отсчета сигнала с тактовой частотой f_D . Им соответствуют N периодов сигнала с частотой $f_{вых.}$. Поэтому

$$\frac{N}{f_{вых.}} = \frac{N}{f_{вх.} - f_D} = \frac{1024}{f_D}$$

$$f_{\text{Д}} = \frac{1024 f_{\text{вх.}}}{1024 + N} \quad (1)$$

Для определения полосы частот сигнала при аналого-цифровом преобразовании в ШСПС надо на генераторе сигналов SMB 100А установить одно из значений частоты сигнала $f_{\text{вх.}}$ из таблицы 1. В интерфейсном окне перейти на вкладку «Графики», выбрать «КЦП 1», «Временная область», «Усреднение 8-битных отсчетов». Наблюдать на экране компьютера временную диаграмму синусоидального сигнала частотой $f_{\text{вых.}} = f_{\text{вх.}} - f_{\text{Д}}$ и определить число N периодов синусоиды на экране. По формуле (1) рассчитать частоту дискретизации. Затем перейти на вкладку «Спектр мощности» и определить положение $f_{\text{вых.}}$ гармоники спектра на оси частот. По формуле: $f_{\text{Д}} = f_{\text{вх.}} - f_{\text{вых.}}$ вновь определить $f_{\text{Д}}$ и убедиться, что полученное значение совпадает с предыдущим с точностью не хуже 2^{-9} . Вычислить Δf по формуле $\Delta f = f_{\text{Д}}/2 = 512$ МГц.

После этого изменяя частоту входного сигнала в соответствии с таблицей 1 наблюдать соответствующее число N периодов синусоиды на экране компьютера.

Таблица 1 – Значения входной частоты и соответствующее число периодов на экране

$f_{\text{вх.}}$, МГц	N
1025	1
1026	2
.	.
.	.
.	.
1534	510
1535	511

Канал считается выдержавшим поверку, если при любой частоте входного сигнала $f_{\text{вх.}}$ из таблицы 1 число периодов синусоиды N , отображаемых на экране компьютера соответствует приведенному в таблице 1 значению.

6.3.2.3 Повторить измерения по п.6.3.2.2 для каналов ШСПС №2– №8.

Результаты поверки считать положительными, если ширина полосы пропускания каждого канала приемных трактов радиотелескопов не менее 512 МГц.

6.3.3 Определение эквивалентных шумовых температур приёмных систем радиотелескопов по входу облучателя.

Выполнить измерения шумовых температур ПС РТ ДР УК на местах их расположения – в РАО «Бадарь», Республика Бурятия и в РАО «Зеленчукская», Республика Карачаево-Черкесия.

Измерения выполняются в соответствии с «Методикой измерений эквивалентной шумовой температуры приёмной системы радиотелескопа с помощью эталону единицы шумовой температуры», аттестованной ФГУП «ВНИИФТРИ», свидетельство № 249-

01.00294 – 2010/2015.

Результаты поверки считать положительными, если измеренная эквивалентная шумовая температура приёмной системы каждого радиотелескопа по входу облучателя в S-диапазоне не превышает 35 К, в X-диапазоне не превышает 30 К, в Ka-диапазоне не превышает 65 К.

6.3.4 Определение погрешности привязки опорной точки радиотелескопа к локальной геодезической сети и отклонения антенного выноса (наименьшего расстояния между осями вращения антенны) от номинального значения. Проверка проводится для каждого радиотелескопа.

Целью геодезической привязки является получение координат опорных точек (геометрического измерительного центра) радиотелескопов в земной системе координат. Погрешность полученных координат относительно пунктов ЛГС РТ не должна превышать 10 мм. Поверяется геодезическая привязка каждого радиотелескопа ДР УК.

Опорной точкой (ОП – «reference point») принято считать точку угломестной оси E2, ближайшую к азимутальной оси E1 ОПУ РТ. Если оси вращения ОПУ РТ не пересекаются, то определяется значение антенного выноса d , как наименьшее расстояние между осями вращения (Рисунок 2).

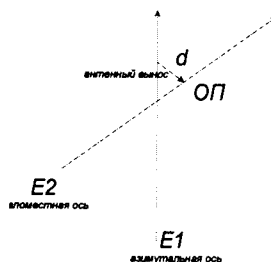


Рисунок 2. Оси ОПУ РТ

Для определения координат ОП и значения антенного выноса РТ используются пять измерительных станций, три из которых следует расположить на пунктах ЛГС (1, 2 и 3 на рисунке 2) а две других (4 и 5 на рисунке 3) – на площадках обслуживания полуосей E2. На станциях 4 и 5 аппаратура устанавливается на приспособления для того, чтобы определить координаты центров полуосей Ц2П и Ц2Л (на рисунке – Кр) и пункты ЛГС.

При необходимости на территории РТ могут быть развернуты дополнительные временные пункты.

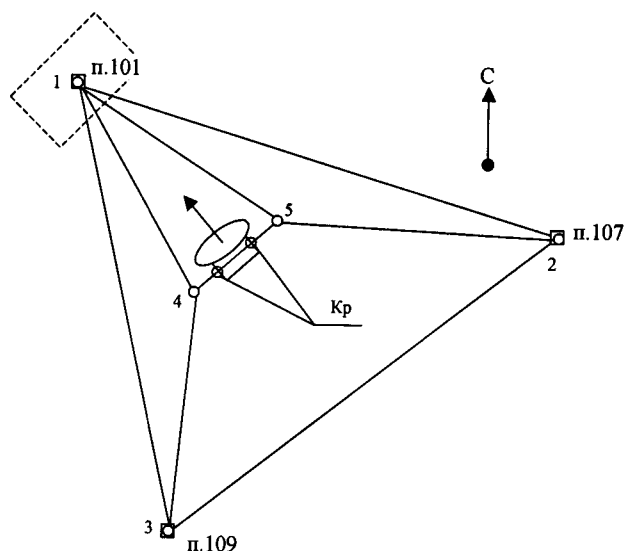


Рисунок 3. Схема размещения пунктов ЛГС РТ

6.3.4.1. Перед началом измерений развернуть на пунктах ЛГС аппаратуру эталонного комплекта в следующей последовательности (рисунок 4):

- установить адаптеры ГП-3 из состава эталонного комплекта. С помощью инклинометра проверить горизонтальность приборных площадок ГП-3, при необходимости произвести их нивелирование. Допускаемая погрешность нивелирования - 1".
- установить на центрах верхних площадок ГП-3 приемную аппаратуру ГНСС и метеостанции. Включить аппаратуру ГНСС на запись измерений с интервалом 1 с.
- установить на центрах нижних площадок ГП-3 эталонные тахеометры (таблица 2) или отражатели из комплекта эталонных тахеометров.

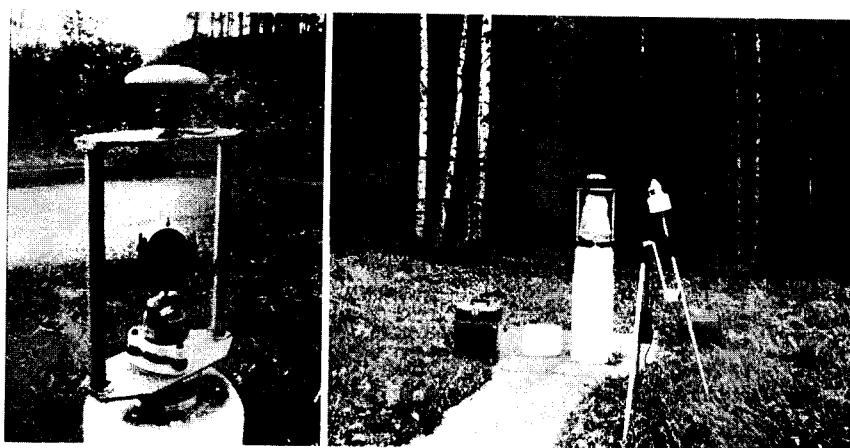


Рисунок 4. Установка оборудования на пункте ЛГС

6.3.4.2. Выполнить проверку геометрических параметров ЛГС. Проверка производится путем измерения превышений пунктов ЛГС, длин сторон, углов в образуемых пунктами треугольниках, с использованием эталонных и вспомогательных средств. Определить по результатам измерений разности координат пунктов и установить их координаты в условной системе координат (УСК). При измерении превышений допускается применение метода тригонометрического нивелирования.

6.3.4.3. Определить координаты центров на осях вращения РТ в УСК.

6.3.4.3.1. Для определения плановых координат азимутальной оси Е1 тахеометры установить на станциях 1, 2 и 3, а в точках 4 и 5 поместить специальные призмы, отражающие дальномерный сигнал, отправленный с любого направления. Процесс измерений состоит в одновременном измерении с трех станций 1, 2 и 3 горизонтальных углов, зенитных расстояний и дальностей на отражатели в точках 4 и 5 при положениях $e_1 = 0^\circ \div 360^\circ$ с шагом 10° в прямом и обратном направлениях.

По результатам измерений вычислить значения координат точек 4 и 5 в зависимости от значения угла поворота. Положения точек 4 и 5 аппроксимировать окружностями, каждая из которых имеет свои координаты центра и радиус. Среднее значение координат центра принимаются в качестве координат оси Е1 в УСК.

6.3.4.3.2. Для определения координат центров вращения полуосей Е2 установить РТ в положение, показанное на рисунке 3 (ориентировочно, отсчет e_1 по индуктосину РТ на оси Е1 равен 317°). Определить координаты и высоты точек 4 и 5 со станций 1, 2 и 3 выполнив измерения горизонтальных углов, зенитных расстояний и дальностей по направлениям на эти точки.

Установить на точки 4 и 5 тахеометры. Закрепить на фланцы полуосей отражатели (отражатели размещаются таким образом, чтобы их можно было наблюдать при повороте зеркала РТ по углу места в пределах всего допускаемого диапазона, как это показано на рисунке 5.

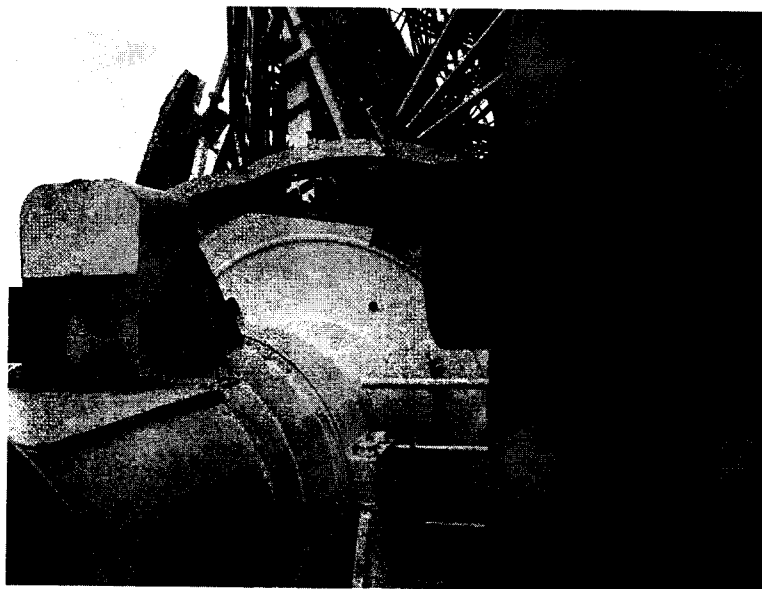


Рисунок 5. Размещение отражателя на фланце полуоси

Ориентировать тахеометры на видимый с обеих точек пункт ЛГС. Измерить высоты тахеометров над площадками обслуживания полуосей. Измерить горизонтальные углы, зенитные расстояния и дальности на остальные видимые пункты ЛГС и кресты отражателей (КР). Измерения на КР выполнить при $e_2 = 0^\circ — 90^\circ$ с шагом 10° в прямом и обратном направлениях.

По изменениям горизонтальных, вертикальных углов и дальностей на КР вычислить координаты их центров в зависимости от угла поворота зеркала РТ вокруг оси E2. Вычислить координаты центров вращения (Ц_{2П}, Ц_{2Л}) полуосей по результатам аппроксимации координат дугой окружности. Средние значения координат центра вращения угломестной оси принимаются в качестве координат оси E2 в УСК.

6.3.4.4. Для проверки условия взаимной перпендикулярности осей вращения РТ повернуть ОПУ РТ с шагом 120° и повторить сеансы измерений при наклонах зеркала РТ. Допускается выполнение одного сеанса измерений с поворотом РТ на угол 180° .

По плановым координатам центра вращения на азимутальной оси E1 и плановым координатам (Ц_{2П}-Ц_{2Л}) на оси E2 вычислить расстояние d от проекции точки E1 на горизонтальную плоскость до проекции на ту же плоскость прямой E2. Если обработка измерений не выявила постоянного наклона вертикальной оси вращения в пределах суммарной погрешности измерений, не превышающей $3''$, то полученное значение расстояния d можно отнести на высоту оси E2.

6.3.4.5. На основании оценки полученных результатов тахеометрических и нивелирных измерений определить погрешность привязки опорной точки радиотелескопа к пунктам локальной геодезической сети (относительно ранее проведенных измерений). При проверке

допускаемой погрешности привязки опорной точки радиотелескопа к локальной геодезической сети систему считают прошедшей проверку, если полученные значения погрешности не превышают ± 10 мм.

6.3.4.6. На основании оценки полученных результатов тахеометрических и нивелирных измерений определить отклонение антенного выноса, полученного из измерений от номинального значения, полученного из ранее проведенных измерений. При проверке отклонения антенного выноса (наименьшего расстояния между осями вращения антенны) систему считают прошедшей проверку, если полученные значения отклонения от номинального значения не превышают ± 10 мм.

6.4. Определение погрешности привязки локальной геодезической сети к земной системе координат

6.4.4.1. Для проверки погрешности привязки ЛГС к земной системе координат выполнить привязку пунктов ЛГС к пункту IGS в составе комплекса РСДБ. Для этого к установленной на пункте IGS антенне приемника ГНСС через активный делитель мощности антенного сигнала подключить приемник ГНСС из состава эталонного комплекта (таблица 2), как это показано на рисунке 6. Включить приемник на запись измерений с интервалом 1 с.

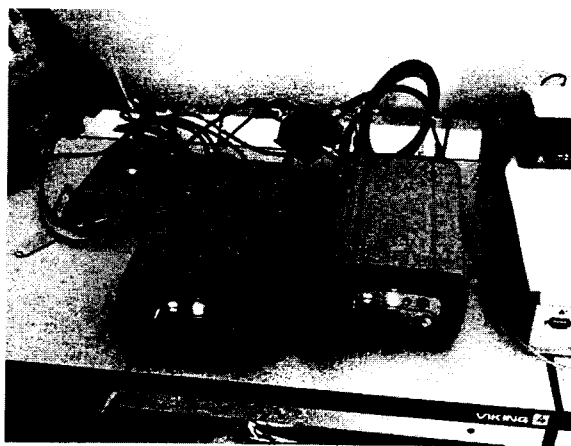


Рисунок 6. Подключение приемника ГНСС к антенне пункта IGS

Опорный приемник из эталонного комплекта должен производить измерения в течении времени работы установленных на пунктах ЛГС приемников ГНСС, не менее 2-х суток.

6.4.4.2. После завершения сеанса измерений выполнить сохранение данных со всех приемников ГНСС из состава эталонного комплекта для последующей обработки в ВЦ.

6.4.4.3.. Обработку результатов измерений проводить средствами штатного ПО из состава эталонного комплекта в следующем порядке:

- по результатам совместной обработки измерений на пунктах ЛГС и IGS вычислить координаты пунктов в международной земной системе координат ITRF. Для об-

работки измерений использовать ПО «Bernese», «Geodis» «TopconTools»;

- используя координаты пунктов ЛГС, полученные из измерений по сигналам ГНСС, и координаты пунктов ЛГС в УСК выполнить преобразование координат пунктов ЛГС и ОТ из УСК в общеземную систему координат МГС-84 в соответствии с Приложениями А, Б по ГОСТ Р 51794-2001;

При проверке допускаемой погрешности привязки локальной геодезической сети к земной системе координат систему считают прошедшей проверку, если полученные значения погрешности не превышают ± 10 мм

6.3.6 Определение отклонения шкалы времени радиотелескопа от шкалы времени UTC(SU) и погрешности хранения шкалы времени UTC(SU) радиотелескопом.

Определение отклонения шкалы времени радиотелескопа от шкалы времени UTC(SU) выполнить путем сравнения шкал времени радиотелескопов № n ($[n] = 1 \dots 2$) узлов колокации СЧВС_[1]: $T_{СЧВС[1]}$ и СЧВС_[2]: $T_{СЧВС[2]}$ и ГЭВЧ: UTC(SU) с помощью комплекса средств контроля характеристик частотно–временной синхронизации двухэлементного радиоинтерферометра (КСК ЧВС[n]), перевозимого калибровочного приемника сигналов КНС GPS/ГЛОНАСС (ПКП) и аналогичного средства ГЭВЧ. Перевозимый калибровочный приемник сигналов КНС GPS/ГЛОНАСС в нерабочем (транспортировочном) состоянии транспортируется от ГЭВЧ на радиотелескоп №1 узла колокации, далее на радиотелескоп №2 узла колокации и обратно на ГЭВЧ. При этом перед транспортировкой на радиотелескопы узлов колокации и по прибытии ПКП с радиотелескопов узлов колокации на ГЭВЧ выполняются измерения с помощью ПКП на интервале времени не менее десяти суток ($t_{1[n]}$) и ($t_{3[n]}$) с целью контроля соответствия его метрологических характеристик требованиям ЭД..

6.3.6.1 Перед выполнением измерений подготовить ПКП к работе:

Установить ПКП на рабочем месте, обеспечив удобство работы и условия естественной вентиляции. Если хранение и транспортировка ПКП проводилось в условиях, отличающихся от рабочих, то перед измерениями выдержать ПКП в рабочих условиях в течение интервала времени, предусмотренного Руководством по эксплуатации на него. Произвести внешний осмотр ПКП, убедиться в отсутствии внешних механических повреждений и неисправностей, влияющих на его работоспособность. Установить приемную антенну ПКП на штатном и калибровочном месте антенной площадки узла колокации с известными с погрешностью не более 10 см координатами в геодезической системе WGS 84 или ITRF. Соединить антенные кабели ПКП к антенне с одной стороны и к ПКП с другой стороны.

Соединить ПКП с опорным хранителем шкалы времени СЧВС[n] радиотелескопа узла колокации № n в соответствии с рисунком 7. Подать на ПКП высокочастотные сигналы

10 МГц от буферного усилителя того из хранителей времени и частоты радиотелескопа, который используется в качестве опорного для комплекса средств контроля характеристик частотно–временной синхронизации.



Рисунок 7 – Схема соединения ПКП и опорного хранителя шкалы времени СЧВС_[n]

Подать на ПКП импульсные сигналы 1 Гц от буферного усилителя того из хранителей времени и частоты радиотелескопа, который используется в качестве опорного для комплекса средств контроля характеристик частотно–временной синхронизации. Убедиться, что амплитуда импульсного сигнала 1 Гц на конце кабеля поданного на ПКП не менее 2,5 В, а крутизна фронта импульсного сигнала 1 Гц, поданного на ПКП не менее 1 В/нс на нагрузке 50 Ом.

Подсоединить шнуры питания ПКП и ИИВ к трехпроводной питающей сети. Выключатели сети ПКП должны находиться в положении «Выключено».

6.3.6.2 Выполнение измерений с помощью ПКП

С помощью измерителя интервалов времени определить задержку τ_3 сигналов 1 Гц шкалы времени СЧВС_[n] до входа «1 Гц» ПКП, приведенную ко входам ИИВ:

$$\tau_3 = T_{(СЧВС[n])} - T_{ПКП}.$$

Включить питание ПКП. Выполнить операции по настройке ПКП в штатный режим функционирования в соответствии с Руководством по эксплуатации. Записать значение задержки τ_3 в соответствующий файл ПКП. Убедиться, что ПКП принимает сигналы навига-

ционных космических аппаратов ГЛОНАСС/GPS и формирует файлы с результатами измерений. Провести измерения с помощью ПКП на интервале времени наблюдения ($t_{2[n]}$) не менее десяти суток.

При определении взаимных смещений шкал времени средств частотно-временной синхронизации двухэлементного радиоинтерферометра (ШВ СЧВС_[1] и ШВ СЧВС_[2] ДИ) на узлах колокации, а также шкал времени средств частотно-временной синхронизации двухэлементного радиоинтерферометра (ШВ СЧВС_[1] и ШВ СЧВС_[2] ДИ) на узлах колокации относительно UTC(SU) использовать результаты сравнения ШВ UTC(SU), $T_{(СЧВС[1])}$ и $T_{(СЧВС[2])}$, полученные с помощью комплекса средств контроля характеристик частотно-временной синхронизации двухэлементного радиоинтерферометра и перевозимого калибровочного приемника сигналов КНС GPS/ГЛОНАСС.

Выполнить измерения с применением ПКП и аналогичного средства ГЭВЧ. Произвести регистрацию данных с результатами измерения оценок разности шкал времени [UTC(SU) – ШВС] ($t_{1[n]}$) ГЭВЧ и [UTC(SU) – ШВС] ($t_{1[n]}$) Т на интервале времени наблюдения $t_{1[n]}$ не менее десяти суток ПКП на ГЭВЧ и аналогичным средством ГЭВЧ.

Произвести транспортировку ПКП на радиотелескоп узла колокации № n.

Выполнить измерения с применением ПКП на радиотелескопе узла колокации № n и аналогичных средств СЧВС_[n] и ГЭВЧ. Произвести регистрацию данных с результатами измерения оценок разности шкал времени [UTC(SU) – ШВС] ($t_{2[n]}$) ГЭВЧ, $[T_{(СЧВС[n])} - ШВС]$ ($t_{2[n]}$) КСК ЧВС [n] и $[T_{(СЧВС[n])} - ШВС]$ ($t_{2[n]}$) Т на интервале времени наблюдения ($t_{2[n]}$) не менее десяти суток ПКП на радиотелескопе узла колокации № n и аналогичными средствами СЧВС и ГЭВЧ.

Произвести транспортировку ПКП на ГЭВЧ.

Выполнить измерения на ГЭВЧ с применением ПКП и аналогичного средства ГЭВЧ. Произвести регистрацию данных с результатами измерения оценок разности шкал времени [UTC(SU) – ШВС] ($t_{3[n]}$) ГЭВЧ, [UTC(SU) – ШВС] ($t_{3[n]}$) Т на интервале времени наблюдения ($t_{3[n]}$) не менее 10-ти суток ПКП на ГЭВЧ и аналогичным средством ГЭВЧ.

6.3.6.3 Расчет среднесуточных оценок разности шкал времени ГЭВЧ и СЧВС[n]

Рассчитать среднесуточные оценки разности шкал времени ГЭВЧ и СЧВС[n], полученные с помощью ПКП аналогичного средства, размещенных на радиотелескопе узла колокации № n и аналогичного средства ГЭВЧ на интервалах времени наблюдения ($t_{1[n]}$), ($t_{2[n]}$) и ($t_{3[n]}$).

[UTC(SU) – ШВС] ($t_{1[n]}$) ГЭВЧ ,

[UTC(SU) – ШВС] ($t_{1[n]}$) Т ,

[UTC(SU) – ШВС] ($t_{2[n]}$) ГЭВЧ ,

$$\begin{aligned}
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{T}}, \\
& [T_{(\text{СЧВС}[n])} - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{КСК ЧВС [n]}}, \\
& [T_{(\text{СЧВС}[n])} - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{T}}, \\
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{ГЭВЧ}}, \\
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{T}}.
\end{aligned}$$

По полученным оценкам разности шкал времени ГЭВЧ и ШВС для интервалов времени наблюдения $(t_{1[n]})$ и $(t_{3[n]})$

$$\begin{aligned}
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{1[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{1[n]})_{\text{T}} \\
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{T}}
\end{aligned}$$

методом наименьших квадратов рассчитать значения для интервала времени наблюдения $(t_{2[n]})$

$$[\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{T}}.$$

Рассчитать смещение шкал времени ГЭВЧ и радиотелескопа узла колокации № n для интервала времени наблюдения $(t_{2[n]})$ по выражению:

– для КСК ЧВС [n]:

$$\begin{aligned}
& [\text{UTC}(\text{SU}) - T_{(\text{СЧВС}[n])}] (t_{2[n]})_{\text{КСК ЧВС [n]}} = \\
& = [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [T_{(\text{СЧВС}[n])} - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{КСК ЧВС [n]}};
\end{aligned}$$

– для ПКП:

$$\begin{aligned}
& [\text{UTC}(\text{SU}) - T_{(\text{СЧВС}[n])}] (t_{2[n]})_{\text{T}} = \\
& = [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [T_{(\text{СЧВС}[n])} - \text{ШВС}] (t_{2[n]})_{\text{T}}.
\end{aligned}$$

По полученным оценкам разности шкал времени ГЭВЧ и ШВС для интервалов времени наблюдения $(t_{1[n]})$ и $(t_{3[n]})$

$$\begin{aligned}
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{1[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{1[n]})_{\text{T}} \\
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{T}}
\end{aligned}$$

методом наименьших квадратов рассчитать погрешность определения смещения шкал времени ГЭВЧ и радиотелескопа узла колокации № n методом транспортировки ПКП как отклонение

$$\begin{aligned}
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{1[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{1[n]})_{\text{T}} \\
& [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{ГЭВЧ}} - [\text{UTC}(\text{SU}) - \text{ШВС}] (t_{3[n]})_{\text{T}}.
\end{aligned}$$

Рассчитать смещение шкал времени СЧВС_[1] и СЧВС_[2] по выражению:

– для КСК ЧВС [n]:

$$\begin{aligned}
& [T_{(\text{СЧВС}[1])} - T_{(\text{СЧВС}[2])}] (t_{2[n]}) = \\
& = [T_{(\text{СЧВС}[1])} - \text{ШВС}] (t_{2[1]})_{\text{КСК ЧВС [n]}} - [T_{(\text{СЧВС}[2])} - \text{ШВС}] (t_{2[1]})_{\text{КСК ЧВС [n]}} = \\
& = [T_{(\text{СЧВС}[1])} - \text{ШВС}] (t_{2[2]})_{\text{КСК ЧВС [n]}} - [T_{(\text{СЧВС}[2])} - \text{ШВС}] (t_{2[2]})_{\text{КСК ЧВС [n]}};
\end{aligned}$$

– для ПКП:

$$\begin{aligned} & [T_{(CЧВС[1])} - T_{(CЧВС[2])}] (t_{2[n]}) = \\ & = [T_{(CЧВС[1])} - ШВС] (t_{2[1]})_T - [T_{(CЧВС[2])} - ШВС] (t_{2[2]})_T . \end{aligned}$$

6.3.6.4 Определение отклонения шкалы времени радиотелескопа от шкалы времени UTC(SU) с помощью перевозимых квантовых часов из состава ГЭВЧ выполняется в соответствии с методикой калибровки МК 07 – 08 – 2010.

6.3.6.5 Определение погрешности хранения шкалы времени UTC(SU) радиотелескопом.

Погрешность хранения шкалы времени UTC(SU) радиотелескопом оценивается как разность значений отклонения шкалы времени СЧВС радиотелескопа от шкалы времени UTC(SU), полученное с помощью ПКЧ, отклонения шкалы времени СЧВС радиотелескопа от шкалы времени UTC(SU), полученное с помощью приемника GTR51 КСК ЧВС по сигналам ГЛОНАСС и значения задержки опорного сигнала 1 Гц приемника GTR51 КСК ЧВС.

6.3.6.6 Результаты испытаний считать положительными, если модуль полученного значения отклонения шкалы времени радиотелескопа от шкалы времени UTC(SU) не превышает 5 мкс, а модуль полученного значения погрешности хранения шкалы времени UTC(SU) радиотелескопом не превышает ± 50 нс.

6.3.7 Определение случайной составляющей погрешности измерений интервалов времени (групповых задержек) (СКО).

6.3.7.1 Определяется случайная составляющая погрешности измерений интервалов времени (групповых задержек) (СКО) путем обработки многократных (не менее 20) измерений задержек ДР УК на узлах колокации (Зеленчукская и Бадары), привязанных к одним и тем же моментам времени.

6.3.7.2 Измерения и корреляционная обработка осуществляются в соответствии с Руководством по эксплуатации на двухэлементный радиоинтерферометр на узлах колокации ИЕЛГ.461000.501 РЭ и программный Коррелятор ИПА РАН ИЕЛГ.468120.600 РЭ. Длительность сессии измерений – 3 часа. Испытание считается успешным, если в результате сформирован NGS-файл с задержками. (Возможно также использование NGS-файл с задержками, полученного в процессе штатного функционирования, если указанные выше условия были выполнены).

6.3.7.3 Результаты поверки считать положительными по данному параметру, если полученные значения СКО не превышают 10 пс.

7 Оформление результатов поверки

При поверке ведут протоколы, в которые вносятся результаты измерений. При поло-

жительных результатах поверки выдается свидетельство о поверке в соответствии с требованиями приказа Минпромторга №1815 от 02 июля 2015 г.

На оборотной стороне свидетельства указываются действительные значения координат опорной точки каждого радиотелескопа.

При отрицательных результатах поверки система к применению не допускается и на неё выдается извещение о непригодности в соответствии с требованиями приказа Минпромторга №1815 от 02 июля 2015 г. с указанием причины.

Главный метролог ФГУП «ВНИИФТРИ»

Нач. отдела ГМЦ ГСВЧ

Нач. лаборатории ГМЦ ГСВЧ

Начальник лаборатории

Нач. отдела

Зам. Главного метролога ФГУП «ВНИИФТРИ»

 А.С. Дойников

 С.Л. Пасынок

 Ю.Ф. Смирнов

 Э.Ф. Юрчук

 А.В. Мазуркевич

 Л.В. Юров