

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЛОНАСС

Пасынков Владимир Викторович

д.т.н., генеральный конструктор, Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»
pasynkov_vv@mail.ru

PROSPECTIVE INFORMATION TECHNOLOGY FOR IMPROVING GLONASS TIME-FREQUENCY SUPPORT DEVELOPMENT

V. Pasyнков

Summary: The article describes the problem of improving the time-frequency support of GLONASS, which consists in the complication of the mutual clocks synchronization's modern process, due to the significant improvement of its characteristics in terms of stability. Approaches to development the methodology for comparing onboard scales using modern and prospective GLONASS hardware are discussed. The measurements' models developed within the framework of this methodology are presented, including both traditional direct measurements of ranges and query measurements, as well as its various combinations of ranges between coordinate vectors of navigation spacecrafts, non-aery measuring stations and navigation stations. The main features of the concept of processing measurements between the objects of the system using the proposed models are considered. The main uncertain factors to be evaluated are determined which have to evaluate in the process of technology development.

Keywords: GLONASS, UMS, GNSS, TFC, NSC.

Аннотация. В статье рассматривается проблема совершенствования частотно-временного обеспечения ГЛОНАСС, которая заключается в усложнении современного процесса взаимной синхронизации часов, обусловленном значительным совершенствованием их характеристик в части стабильности. Обсуждаются подходы к разработке методологии сличения бортовых шкал с использованием современных и перспективных аппаратных средств ГЛОНАСС. Приводятся разработанные в рамках этой методологии модели измерений, включающих как традиционные прямые измерения дальностей, так и встречные измерения, а также различные математические комбинации дальностей между векторами координат навигационных космических аппаратов, беззапросных измерительных станций и навигационных станций. Рассмотрены основные нюансы концепции обработки измерений между объектами системы с применением предложенных моделей, определены основные неопределенные факторы, подлежащие оцениванию в процессе отработки технологии.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, БИС, ГНСС, ЧВП, НКА.

Введение

В прошедшее десятилетие во всех глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) произошёл существенный прогресс в характеристиках бортовых часов, которые достигли уровня первых единиц пятнадцатого знака по суточной нестабильности [1]. Однако, несмотря на высочайший уровень хранения частоты бортовыми часами, уровень взаимной синхронизации между навигационными космическими аппаратами (НКА) остаётся недостаточным [2]. Есть основания предполагать, что основная причина этого состоит в том, что средства сличений бортовых часов с наземными существенно (примерно в 3 раза) отстали от достигнутого уровня точности хранения частоты на борту [3]. В перспективе в ГЛОНАСС ожидается использование бортовых синхронизирующих устройств (БСУ) на основе водородных стандартов. Таким образом, задача улучшения средств сличений бортовых стандартов частоты ГЛОНАСС с наземными становится актуальной. Экспериментальные данные показывают (рис. 1), что при суточной нестабильности от трех до пяти единиц пятнадцатого знака (водородные стандарты ГНСС Бей-

доу и Галилео), амплитуда «белого» шума лучших бортовых стандартов не превышает в линейной мере 6–9 см (0,2–0,3 нс), тогда как точность расчёта точечных оценок («стохастических») по технологии IGS находится на уровне 0,1–0,2 нс (по уровню среднеквадратического отклонения (СКО), без учета систематических погрешностей, присущих вещественному раскрытию неоднозначности фазовых измерений), что не обеспечивает необходимой точности измерений. В этих условиях становится ясно, что актуальным становится формирование технологии и подбор соответствующих средств измерений, которые по характеристикам точности не хуже 0,03–0,1 нс (1–3 см в линейной мере), чтобы бы соответствовать по точности бортовым часам.

Одним из ключевых вопросов в разработке информационной технологии сличения наземных и бортовых часов является выбор средств для реализации упомянутой технологии. В частности, открытым вопросом является выбор типа антенны. Всенаправленные антенные системы (ВАС), применяемые при реализации технологии эфемеридно-временного обеспечения (ЭВО) IGS, имеют преимущества: ниже стоимость на-

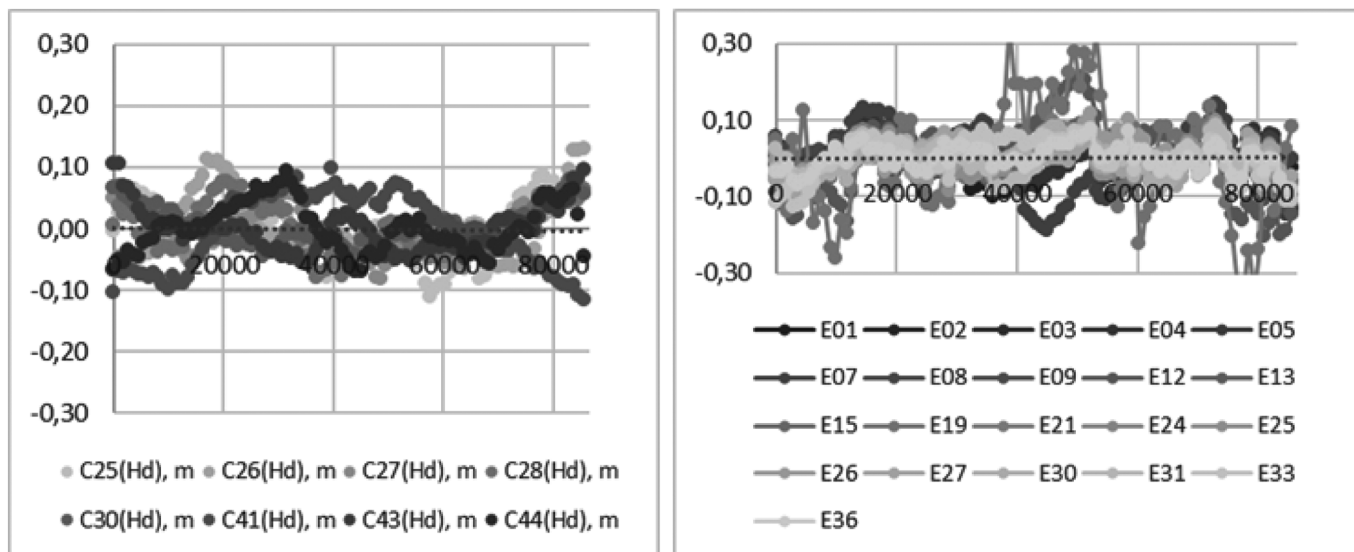


Рис. 1. Частотно-временные поправки (за вычетом линейного тренда) в м для Бейдоу-3 (слева) и Галилео (справа), оснащенных водородными стандартами частоты

земной станции, широкое распространение в потребительской аппаратуре. Тем не менее, ВАС имеют существенные недостатки: прежде всего значительный уровень многолучевости (в разы превышающий собственную погрешность измерений), и крайне низкую помехозащищенность, что интегрально не позволяет их рассматривать как перспективное средство частотно-временного определения (ЧВО) при наличии бортовых водородных стандартов. Остронаправленные антенные системы (ОАС) свободны от недостатков ВАС. В системе ГЛОНАСС на первом этапе развития [1] основной упор делался именно на их использование, в том числе отдельное внимание уделялось созданию средств измерений в интересах ЧВО с остронаправленными антеннами. В пользу выбора ОАС говорит и тот факт, что в составе ГЛОНАСС в перспективе будет несколько станций в различных частотных диапазонах, работающих на ОАС. При этом некоторые из станций будут обеспечивать работу в нескольких диапазонах. Таким образом, потенциальный возврат к созданию средств измерений с ОАС потребует решения на новом уровне точности следующих задач:

- калибровки наземной аппаратуры и параметров антенных систем (АС);
- определения вариаций выносов АС;
- оцифровки времени относительно опорного наземного стандарта частоты;
- геодезической привязки станций,
- выполнения перечисленных выше мероприятий в нескольких частотных диапазонах (в перспективных НКА ГЛОНАСС их пять), в том числе и для старых сигналов с частотным разделением.

В данной статье рассмотрено создание основ информационной технологии для решения задач калибровки и привязки радиотехнических систем сличения шкал

времени НКА ГЛОНАСС, работающих на ОАС, которая бы решала перечисленные выше задачи.

1. Формирование концепции и методических основ информационной технологии

Основная идея предлагаемой далее технологии состоит в последовательном исключении весомых неопределённых факторов, в том числе выносов АС, задержек в приемных и передающих трактах станций, КА и БИС на различных частотах посредством их оценивания на основе обработки методом наименьших квадратов различных комбинаций измерений. Для того, чтобы это сработало на практике, необходимо, чтобы используемые модели комбинаций измерений (прямые, встречные, первые разности) между объектами системы соответствовали их физической природе и содержали компоненты, отвечающие за каждую присутствующую в реальном измерении погрешность. Также необходимо добиться отдельной наблюдаемости этих компонент при обработке измерений, либо нивелировать их влияние другими способами. Таким образом, далее в статье подробно разобраны соотношения, которые автор предлагает использовать в качестве основы в описываемой технологии. В качестве исходных данных для начальных расчетов предлагается использовать формулярные значения задержек (при их наличии) выносов фазового центра (ФЦ) АС, формулярные значения задержек в приемных и передающих трактах, апостериорные эфемериды, апостериорные ионосферные карты, апостериорные частотно-временные поправки (ЧВП). Режим уточнения целесообразно использовать много-орбитальный (все НКА) и много-пунктовый.

Последовательность процедур оценивания предлагается взять следующей. Для измерений НС в навигационном диапазоне:

а) Оценка линейных комбинаций (ЛК) сигналов высокой точности (ВТ) с частотным разделением, в том числе оценка измерений, уточнение координат по кодовым измерениям, уточнение выносов ФЦ АС, уточнение задержек радиолинии;

б) Оценка по прямым измерениям сигналов в S-диапазоне с учетом различных вариантов выбора моделей ионосферы;

в) Оценка по разностям сигналов ВТ: С1Р на частоте L1, С2Р на частоте L2; ионосферно-свободной комбинации сигналов С2Р на частоте L2, кодовых ВТ измерений, сглаженных фазой на частотах F1, F2; ЛК сигнала в S диапазоне и сигналом МРЛ.

Для измерений НС в S диапазоне предлагается обрабатывать прямые измерения с использованием априорных данных, а также первые разности сигналов ВТ: С1Р на частоте L1, С2Р на частоте L2.

Проведение перечисленных процедур требует разработки всех необходимых моделей измерений, которые бы включали варианты представления неопределенных факторов в качестве параметров этих моделей.

2. Формирование моделей измерений и их комбинаций

Составим модель измерений в виде линейных комбинаций, формируемых в интересах уточнения относительных задержек (раздельно для приёмно-передающих трактов) БИНС-МРЛ. Представим исходные уравнения для наземных станций (НС).

Если наземная станция излучает, а КА принимает (прямое измерение):

$$S_{k(1)НС}^i = \rho_{k(1)}^i + c\bar{t}^i - c\bar{t}_Н + a_{0кН}^{ПД} + a_0^{ПМ(МРЛ)}. \quad (2.1)$$

где $S_{k(1)НС}^i$ — измерение, $\rho_{k(1)}^i$ — геометрическая дальность, \bar{t}^i — сдвиг часов КА, $\bar{t}_Н$ — сдвиг часов станции, $a_{0кН}^{ПД}$ — задержка в передающем тракте станции, $a_0^{ПМ(МРЛ)}$ — задержка в приемном тракте КА.

Если НС принимает, а КА излучает (встречное измерение):

$$S_{k(2)НС}^i = \rho_{k(2)}^i + c\bar{t}_Н - c\bar{t}^i + a_0^{ПД(МРЛ)} + a_{0кН}^{ПМ}. \quad (2.2)$$

где $S_{k(2)НС}^i$ — измерение, $\rho_{k(2)}^i$ — геометрическая дальность, $a_0^{ПД(МРЛ)}$ — задержка в передающем тракте КА, $a_{0кН}^{ПМ}$ — задержка в приемном тракте станции.

Для БИНС всегда БИС принимает, а КА излучает:

$$S_{k(2)БИС}^i = \rho_{k(2)}^i + c\bar{t}_6 - c\bar{t}^i + a_0^{ПД(БИНС)} + a_{0к6}^{ПМ}, \quad (2.3)$$

где $S_{k(2)БИС}^i$ — измерение, \bar{t}_6 — сдвиг часов БИС, $a_0^{ПД(БИНС)}$ — задержка в передающем тракте КА, $a_{0к6}^{ПМ}$ — задержка в приемном тракте БИС.

Необходимо отметить, что ряд станций перспективного наземного сегмента имеют совмещённые тракты L- и других диапазонов, что открывает очень хорошие перспективы по комбинированию, калибровке и оценке измерений. Иными словами, (2.2) и (2.3) совмещены на одном стандарте частоты, а также совмещены излучатели на одной АС. Такие характеристики позволяют оценить выносы АС двух старых и трёх новых сигналов в L-диапазонах и S-диапазоне, оценить относительно калиброванного приёмника (не имеет измерений в F3) калибровки для четырех сигналов в L-диапазоне и относительные калибровки S-диапазона относительно сигналов в L-диапазоне.

3. Формирование линейных комбинации измерений

3.1. Комбинирование измерений НС-МРЛ

При комбинировании измерений НС в канале МРЛ:

$$S_k^{i+} = \left(S_{k(1)НС}^i + S_{k(2)НС}^i \right) = \left(\rho_{k(1)}^i + \rho_{k(2)}^i \right) + a_{0к}^+ + a_0^{i+}, \quad (3.5)$$

где $a_{0к}^+$ — суммарные задержки k-й НС в передающем и приемном трактах соответственно, a_0^{i+} — суммарные МРЛ задержки i-го КА:

$$a_{0к}^+ = a_{0кН}^{ПД} + a_{0кН}^{ПМ} \quad (3.6)$$

$$a_0^{i+} = a_0^{ПД(МРЛ)} + a_0^{ПМ(МРЛ)} \quad (3.7)$$

Уравнение (3.5) — геометрический параметр, требующий для разрешения знания координат станции со всем нюансами и знания точных эфемерид КА, а также наличия встречных измерений не менее чем от двух пар КА-НС и встречных измерений между двумя этими КА.

$$S_k^{i-} = \left(S_{k(1)НС}^i - S_{k(2)НС}^i \right) = 2c\bar{t}^i - 2c\bar{t}_Н + a_{0к}^- + a_0^{i-}, \quad (3.8)$$

где $a_{0к}^-$ — разностные задержки k-й НС, a_0^{i-} — разностные МРЛ задержки i-го КА:

$$a_{0к}^- = a_{0кН}^{ПД} - a_{0кН}^{ПМ} \quad (3.9)$$

$$a_0^{i-} = a_0^{ПМ(МРЛ)} - a_0^{ПД(МРЛ)} \quad (3.10)$$

Уравнение (3.8) — временной параметр, требующий для разрешения знания точных часов КА и станции, а также наличия встречных измерений от не менее чем двух пар КА-НС и встречных измерений между двумя этими КА.

3.2. Комбинирование измерений НС-БИС

Рассмотрим линейные комбинации измерений НС и обычной БИС.

Сумму измерений НС и БИС $S_{кн(2)б(2)}^{i+} = S_{к(2)НС}^i + S_{к(2)БИС}^i$, где обе станции принимают от излучающего КА, можно представить как:

$$S_{кн(2)б(2)}^{i+} = \rho_{к(2)}^i + \rho_{к(2)}^i + c(\bar{t}_н + \bar{t}_б) - 2c\bar{t}^i + (a_{0кн}^{iПМ} + a_{0кб}^{iПМ}) + (a_0^{iПД(МРЛ)} + a_0^{iПД(ВИНС)}). \quad (3.11)$$

Разность измерений НС и БИС $S_{кн(2)б(2)}^{i-} = S_{к(2)НС}^i - S_{к(2)БИС}^i$, где обе станции принимают от излучающего КА:

$$S_{кн(2)б(2)}^{i-} = \rho_{к(2)}^i - \rho_{к(2)}^i + c(\bar{t}_н - \bar{t}_б) + (a_{0кн}^{iПМ} - a_{0кб}^{iПМ}) + (a_0^{iПД(МРЛ)} - a_0^{iПД(ВИНС)}). \quad (3.12)$$

позволяет компенсировать бортовые часы, а также наземные, если $\bar{t}_н = \bar{t}_б$. Таким образом, для успешного разрешения наиболее интересной относительной задержки $a_0^{iПД(МРЛ)} - a_0^{iПД(ВИНС)}$ необходимо не только совмещение на одном стандарте частоты НС, но и знание или возможность замера разности задержек часов НС и БИС.

Ситуация существенно упрощается, если приёмный тракт БИС откалиброван ($a_{0кб}^{iПМ} = 0$). В таком случае можно при известном (уточненном) приёмном тракте НС-МРЛ провести оценку разности передающих трактов МРЛ-БИС на КА: $a_0^{iПД(МРЛ)} - a_0^{iПД(ВИНС)}$. Оценка $a_0^{iПД(МРЛ)}$ также возможна на основе суммарных и разностных измерений НС-МРЛ, в результате чего можно получить непосредственную задержку $a_0^{iПД(ВИНС)}$.

Сумма измерений НС, где НС излучает, а БИС принимает: $S_{кн(1)б(2)}^{i+} = S_{к(1)НС}^i + S_{к(2)БИС}^i$ представляется как:

$$S_{кн(1)б(2)}^{i+} = \rho_{кн(1)}^i + \rho_{к(2)}^i + c(\bar{t}_н - \bar{t}_б) + (a_{0кн}^{iПД} + a_{0кб}^{iПМ}) + (a_0^{iПМ(МРЛ)} + a_0^{iПД(ВИНС)}). \quad (3.13)$$

и при известных эфемеридах позволяет компенсировать бортовые часы (наземные тоже, если $\bar{t}_н = \bar{t}_б$).

Если приёмный тракт БИС откалиброван, то можно также при известном (уточненном) передающем тракте НС-МРЛ (из суммарных и разностных задержек) провести оценку суммы приёмо-передающих трактов МРЛ-БИС на КА: $a_0^{iПД(МРЛ)} - a_0^{iПД(ВИНС)}$.

То есть получается, что обработка суммарных и разностных МРЛ-МРЛ и НС-МРЛ должна проводиться с использованием помимо уравнений (3.12) также и (3.13).

Разность измерений НС, где НС излучает, а БИС принимает $S_{кн(1)б(2)}^{i-} = S_{к(1)НС}^i - S_{к(2)БИС}^i$:

$$S_{кн(1)б(2)}^{i-} = \rho_{кн(1)}^i - \rho_{к(2)}^i + c(\bar{t}_н + \bar{t}_б) - 2c\bar{t}^i + (a_{0кн}^{iПМ} - a_{0кб}^{iПМ}) + (a_0^{iПМ(МРЛ)} - a_0^{iПД(ВИНС)}). \quad (3.20)$$

4. Формирование первых разностей между НС и БИС

Для достижения поставленной цели необходима также обработка разностей измерений.

4.1. Комбинирование НС-БИС в навигационном диапазоне

Формирование разностных кодовых измерений направлено на устранение неопределенностей и погрешностей, обусловленных вкладом в «прямые» измерения погрешностей бортовой аппаратуры НКА и частично (или полностью при локальной близости) среды распространения сигнала. Для измерений НС на ОАС в навигационном диапазоне и измерений БИС на тех же сигналах из уравнений (3.2) и (3.3) можно сформировать первые разности кодовых псевдодальностей (для i -го КА между приемниками k -БИС и l -НС), как

$$\Delta S_{к(2)БИС,l(2)НС}^i = S_{к(2)БИС}^i - S_{l(2)НС}^i \quad (3.25)$$

В этом случае (3.2) преобразуется:

$$S_{к(2)НС}^i = \rho_{к(2)}^i + c\bar{t}_н - c\bar{t}^i + a_0^{iПД(ВИНС)} + a_{0кн}^{iПМ}. \quad (3.26)$$

что в терминах описанной модели приводит к уравнению

$$\Delta S_{к(2)БИС,k(2)НС}^i = \rho_{к(2)}^i - \rho_{l(2)}^i + c\bar{t}_б - c\bar{t}_н + a_{0кб}^{iПМ} - a_{0кн}^{iПМ}, \quad (3.27)$$

В уравнении (3.27) присутствуют геометрическая разность АС НС и БИС, разность часов (при использовании одного опорного стандарта от нее остается только систематическая погрешность оцифровки времени на НС и БИС) и разность задержек в наземной аппаратуре, что при использовании калиброванной (опорной) БИС ($a_{0кб}^{iПМ} = 0$) позволяет непосредственно оценить задержку в НС $a_{0кн}^{iПМ}$.

Локальная близость НС и БИС на пунктах эксплуатации позволяет провести обработку в первых разностях на каждой ЛК (3.27) или на каждой отдельной частоте (см. далее (3.28)). В этом случае возможно нивелировать погрешность знания бортовых выносов антенны на частоте F_i , погрешность знания бортовых задержек на частоте F_i , погрешность ЧВП i -го КА (то есть ЧВП становятся не нужны), погрешности распространения сигнала в ио-

носфере и тропосфере, которые при интерпретации измеряемого параметра можно не учитывать.

В случае проведения асинхронных измерений, отличных на τ , уравнение (3.27) примет вид:

$$\Delta S_{k(2)БИС,k(2)НС}^i(\tau) = \rho_{k(2)}^i(t) - \rho_{l(2)}^i(t + \tau) + c\bar{t}_6(t) - c\bar{t}_н(t + \tau) + a_{0кб}^{ПМ} - a_{0кн}^{ПМ}, \quad (3.28)$$

Так как и БСУ и наземные стандарты на интервалах времени τ в несколько секунд достаточно стабильны, то вариациями наземных и бортовых часов в (3.28) можно пренебречь. Таким образом, при одновременном наблюдении НС и БИС, находящимся на одном стандарте частоты, для совокупности созвездия из n -КА остаются неразрешенными систематическая разность шкал времени между k -м комплектом НС и эталонной БИС — $a_{к-НС}$, если за эталон принимать часы БИС, литерные калибровки НС по литерам КА (для сигналов с частотным разделением), координаты станции, вынос ФЦ АС НС относительно опорных координат.

4.2. Комбинирование НС в канале МРЛ БИС

Разность измерений НС и БИС, где обе станции принимают от излучающего КА, имеет вид (3.12). В случае асинхронных измерений отличных на τ уравнение (3.12) примет вид:

$$\Delta S_{k(2)БИС,k(2)НС}^i(\tau) = \rho_{k(2)}^i(t) - \rho_{l(2)}^i(t + \tau) + c\bar{t}_6(t) - c\bar{t}_н(t + \tau) + (a_{0кб}^{ПМ} - a_{0кн}^{ПМ}) + (a_0^{ПД(МРЛ)} - a_0^{ПД(ВИНС)}) \quad (3.29)$$

Так же, как и в уравнении (3.28), вариациями наземных и бортовых часов в (3.29) можно пренебречь. В этом случае нивелируются погрешность ЧВП i -го КА, погрешности распространения сигнала в тропосфере, которые при интерпретации измеряемого параметра можно не учитывать. Разницы бортовых и наземных задержек проявляются в полной мере: $(a_0^{ПД(МРЛ)} - a_0^{ПД(ВИНС)})$ — разность задержек в передающих трактах бортовой аппаратуре на частотах МРЛ и БИС, $(a_{0кб}^{ПМ} - a_{0кн}^{ПМ})$ — разность задержек в приёмных трактах в наземной аппаратуре на частотах МРЛ и БИС, погрешность знания бортовых выносов антенны на частотах БИС и МРЛ, которая входит в геометрические расстояния $\rho_{k(2)}^i(t) - \rho_{l(2)}^i(t + \tau)$, погрешность распространения в ионосфере на различных частотах. Расчет ионосферных поправок для измерений в S -диапазоне по измерениям в L -диапазоне предлагается проводить в следующей последовательности:

А) Формируются линейные комбинации (вторая частота минус первая) измерений псевдодальности в навигационном диапазоне ΔS^i на каждый момент времени проведения измерения НС по i -му КА.

$$\Delta S_L^i = S_{L2}^i - S_{L1}^i \quad (3.30)$$

Б) Проводится коррекция ΔS_L^i на величину межчастотной поправки:

$$\Delta S_L^{i'} = \Delta S_L^i - C^i - \Delta_{АФНС}, \quad (3.31)$$

где $\Delta_{АФНС}$ — поправка для аппаратуры формирования навигационного сигнала (АФНС) из навигационного сообщения, если она не учтена в калибровке НС, C^i — значение межчастотной поправки для i -го КА в наземной аппаратуре, рассчитываемой отдельно.

В) Рассчитывается ионосферная поправка для частоты $F_{1ГГц} = 1$ ГГц:

$$\Delta S_{1ГГц}^{i'} = \frac{\Delta S_L^{i'}}{k_{F1} \cdot F_{1ГГц}^2}, \quad (3.32)$$

$$k_{F1} = \frac{1}{F_{L2}^2} - \frac{1}{F_{L1}^2}, \quad (3.33)$$

где k_{F1} — частотный коэффициент для несущих частот F_{L1}^2 и F_{L2}^2 (для частотных сигналов ГЛОНАСС не зависит от литеры, поэтому индекс КА опущен). Для S -диапазона ионосферная поправка:

$$\Delta S_S^{i'} = \frac{\Delta S_{1ГГц}^{i'}}{F_S^2}, \quad (3.34)$$

где F_S — частота S -диапазона, ГГц. Если поправка для АФНС и значение межчастотной поправки для i -го КА содержат погрешности, то в S -диапазоне ионосферная поправка будет иметь погрешность с коэффициентом:

$$k = \frac{1}{k_{F1} \cdot F_S^2}. \quad (3.35)$$

Коэффициент усиления погрешности измерений при компенсации ионосферной задержки двухчастотным методом зависит от разности частот.

$$\begin{aligned} R &= R_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (R_2 - R_1) = \\ &= R_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} R_2 + \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} R_1 = \\ &= R_1 \left(1 + \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} R_2 = \\ &= \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} R_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} R_2 = \\ &= \frac{1}{1 - (f_2 / f_1)^2} R_1 - \frac{1}{(f_2 / f_1)^2 - 1} R_2 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Г) Формируются линейные комбинации (вторая частота минус первая) измерений псевдодальности в навигационном диапазоне ΔS^i на каждый момент времени проведения измерения НС по i -му КА.

$$\Delta S_{SL}^i = S_S^i - S_L^i \quad (3.37)$$

Д) Проводится коррекция ΔS_{SL}^i на величину межчастотной поправки:

$$\Delta S_{SL}^{i'} = \Delta S_{SL}^i - C_{SL}^i - \Delta_{\text{БИНС-МРЛ}} \quad (3.38)$$

где $\Delta_{\text{БИНС-МРЛ}}$ — разность задержек между БИНС и МРЛ (смещение между псевдопоследовательностью ВТ радиосигнала диапазона L1 (L2) относительно псевдопоследовательности радиосигнала МРЛ передающего тракта БИНС), C_{SL}^i — разность задержек в НА в диапазонах S и L.

Последовательность приведенных шагов позволяет определить ионосферные поправки, которые необходимы для использования приведенных в разделах 2, 3 уравнений измерений дальностей между НС/БИС и НКА.

Таким образом, с учетом сформированных в разделах выше моделей измерений можно приступить к реализации методики их последовательной оценки на основе данных проводимых экспериментов.

Заключение

В статье рассмотрено создание основ информационной технологии сличения шкал времени в ГЛОНАСС, которое базируется на применении современных и перспективных наземных и бортовых аппаратных средств проведения измерений, доступных в ГЛОНАСС, а также на достигнутых ранее результатах разработки технологий по уточнению неопределенных факторов, приводящих к ошибкам в измерениях. Предложена методология формирования и обработки измерений, состоящая из последовательности шагов и соответствующих им наборам исходных данных. Описаны мероприятия, позволяющие устранить систематические погрешности, вызванные неопределенными факторами, которые препятствуют высокоточному определению частотно-временных поправок. С целью реализации и проведения экспериментов путем отработки предлагаемой методики сформированы и представлены необходимые для этого модели измерений дальностей между НКА, БИС, НС, которые включают прямые и встречные измерения дальностей, линейные комбинации и разности измерений дальностей и содержат в качестве параметров устраняемые погрешности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кружков Д.М., Пасынков В.В. Отечественная глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС: особенности создания, развития и использования. М.: Издательство МАИ, 2022. — 112 с. ISBN: 978-5-4316-0884-1.
2. П.П. Богданов, В.Е. Дружин, О.Е. Нечаева, А.Е. Тюляков, А.Ю. Феоктистов, К.Г. Шупен. Основные направления повышения точности частотно-временного обеспечения ГНСС ГЛОНАСС. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2013. № 6 (52). С. 38–42.
3. Богданов П.П., Дружин А.В., Примакина Т.В., Феоктистов А.Ю. Проблемы передачи времени в ГЛОНАСС. Труды Института прикладной астрономии РАН. 2020. № 52. С. 9–12.

© Пасынков Владимир Викторович (pasynkov_vv@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»