

Вычисление эфемерид и временных поправок навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS в оперативном режиме по данным измерений

И. В. Безменов

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений,
г. п. Менделеево, Московская обл., Российская Федерация, e-mail: bezmenov@vniiftri.ru

Разработаны алгоритм и программа расчёта в оперативном режиме эфемеридно-временной информации навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS. Представленные результаты получены в Главном метрологическом центре Государственной службы времени и частоты и определения параметров вращения Земли Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). Вычисления эфемеридно-временной информации осуществляются по данным кодовых и фазовых измерений на двух несущих частотах. Данные измерений представлены в виде часовых RINEX-файлов наблюдений и файлов навигационных сообщений от станций слежения, входящих в сеть международной службы глобальных навигационных спутниковых систем IGS (International GNSS Service). Представлены результаты проведённых тестовых расчётов эфемерид и временных поправок навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS в оперативном режиме. Приведён анализ точности полученных результатов по сравнению с апостериорными данными других Центров обработки и анализа данных.

Ключевые слова: навигационный космический аппарат, глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), эфемериды и временные поправки, центры анализа и обработки данных, часовые RINEX-файлы, международная ГНСС-служба.

Введение. Эфемеридно-временная информация (ЭВИ) навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) является основой для многих приложений в области космической геодезии, проведения кадастровых работ, точного позиционирования объектов, как неподвижно расположенных на поверхности Земли, так и перемещающихся в околоземном пространстве [1]. При этом для получения оперативных результатов часто возникает потребность в ЭВИ НКА ГНСС в режиме реального времени. В Центрах анализа и обработки данных (далее – Центры) как за рубежом, так и на территории Российской Федерации рассчитывают эфемериды и временные поправки НКА ГНСС по данным, получаемым со станций слежения, входящих в международную сеть IGS (International GNSS Service) (Международная служба GNSS: [сайт]. URL: <http://www.igs.org/network>). Полученная разными Центрами ЭВИ при этом может различаться. Так, в определении пространственных координат НКА различия (среднеквадратичные отклонения) между двумя Центрами могут достигать нескольких сантиметров, а временные поправки – 10 нс и более. Поскольку точные значения координат орбит и временных поправок НКА остаются неизвестными, то для получения опорных значений прибегают к процедуре комбинирования [2–5]. С 1993 г. IGS (США) формирует ЭВИ методом комбинирования (эфемериды и поправки часов) для спутников GPS по результатам расчётов девяти (на 2019 г.) Центров. Аналогичная процедура

(комбинирование только эфемерид) для получения ЭВИ НКА ГЛОНАСС с 2004 г. до настоящего момента применяется Центром NOAA/NGS (Национальная геодезическая служба США) (Национальная геодезическая служба США: [сайт]. URL: <https://www.ngs.noaa.gov/>) в рамках программы IGLOS-PP (International GLONASS Service Pilot Project) [6]. При этом используются результаты расчётов восьми Центров. Файлы ЭВИ формируются в оперативном, срочном и апостериорном режимах и выкладываются в виде готовых продуктов на ftp-серверах соответствующих Центров (табл. 1).

На территории Российской Федерации функционируют два Центра – Информационно-аналитический центр (ИАЦ) КВНО ГЛОНАСС (ИАЦ [сайт]. URL: <https://www.glonass-iac.ru/>) и Система высокоточного определения эфемерид и временных поправок (СВОЭВП: [сайт]. URL: <http://www.glonass-svoevp.ru/>), осуществляющих оценивание ЭВИ НКА ГНСС (см. табл. 1). В то же время ни один из них не формирует опорные значения ЭВИ, которые могли бы иметь статус официальных.

Одна из целей проведения работ в данной области – создание в Российской Федерации, а именно в Главном метрологическом центре Государственной службы времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) ВНИИФТРИ системы метрологического контроля над ЭВИ НКА ГЛОНАСС, аналогичной системам IGS и NOAA/NGS (США). Предпосылкой служит тот факт, что ГМЦ ГСВЧ, являясь организацией Росстандарта, по статусу может быть

Таблица 1

Формирование ЭВИ (файлов в формате SP3) НКА ГНСС в Центрах

Центр	Группировка НКА (количество Центров)	Режим формирования ЭВИ	Файл	Оперативность	Периодичность
IGS(США)	GPS (9)	Оперативный (ultra rapid)	IGUwwwwd_00.SP3* IGUwwwwd_06.SP3 IGUwwwwd_12.SP3 IGUwwwwd_18.SP3	Реальное время	6 ч
		Срочный (rapid)	IGRwwwwd.SP3	Задержка 1–2 сут	1 сут
		Апостериорный (final)	IGSwwwwd.SP3	Задержка 2 недели	1 сут
NOAA/NGS (США)	ГЛОНАСС (8)	Оперативный (ultra rapid)	IGVwwwwd_00.SP3 IGVwwwwd_06.SP3 IGVwwwwd_12.SP3 IGVwwwwd_18.SP3	Реальное время	6 ч
		Срочный (rapid)	–	–	–
		Апостериорный (final)	IGLwwwwd.SP3	Задержка 2–3 недели	1 сут
ИАЦ (РФ)	ГНСС	Оперативный (ultra rapid)	Stark_1D_yymddhh.SP3**	Реальное время	6 ч
		Срочный (rapid)	Stawwwwwd.SP3	Задержка 1–2 сут	1 сут
		Апостериорная (final)	Stawwwwwd.SP3	~5 сут	1 сут
СВОЭВП (РФ)	ГНСС	Оперативный (ultra rapid)	PMKyymdd.SPU	Реальное время	1 сут
		Срочный (rapid)	PMKyymdd.SPR	Задержка 1–2 сут	1 сут
		Апостериорный (final)	PMKyymdd.SP3	Задержка 2 недели	1 сут

Примечание. *«www» и «d» обозначают порядковый номер и день недели GPS соответственно;

**«уу», «mm», «dd», «hh» обозначают соответственно две последние цифры года, месяц, день месяца и часовой сдвиг (00/06/12/18).

высшим звеном в системе обеспечения единства измерений в области ЭВИ в соответствии с целями, установленными в ГОСТ Р 8.000-2015 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Основные положения».

Одна из сложностей при создании в Российской Федерации системы метрологического контроля, основанной на технологии комбинирования, как это осуществлено в IGS и NOAA/NGS (США), заключается в том, что в Российской Федерации отсутствует достаточное количество Центров, результаты которых после соответствующей обработки можно было бы использовать для получения опорных значений эфемерид и временных поправок НКА ГЛОНАСС. Поэтому получение альтернативной ЭВИ еще одним Центром – ГМЦ ГСВЧ – может создать реальные предпосылки для формирования (также в ГМЦ ГСВЧ) статистически обоснованного решения.

Определение эфемерид и временных поправок НКА ГЛОНАСС и GPS в ГМЦ ГСВЧ. В настоящей статье

представлены основные результаты по разработке программно-аппаратного комплекса формирования альтернативной ЭВИ НКА ГНСС в оперативном режиме. Достигнутые к настоящему времени результаты получены в ГМЦ ГСВЧ. Отметим, что прикладное программное обеспечение по формированию ЭВИ НКА ГНСС в срочном и апостериорном режимах были разработаны в ГМЦ ГСВЧ ранее [7, 8].

Используемые в данной статье термины «эфемериды» и «временные поправки» обозначают трёх- и одномерный временные ряды соответственно пространственных координат НКА и поправок к показаниям их бортовых часов. Временные ряды вычислены в моменты времени, следующие друг за другом с 15-минутным интервалом начиная с начала суток. Следует заметить, что в научно-технической литературе наряду с указанными терминами часто используют синонимичные термины «орбиты» и «поправки часов» соответственно.

Программно-аппаратный комплекс расчёта эфемерид и временных поправок НКА ГНСС в оперативном режиме формирует соответствующие файлы с периодичностью четыре раза в сутки (с интервалом 6 ч) в соответствии с устоявшейся международной практикой. В настоящее время программно-аппаратный комплекс работает в режиме тестирования, целью которого является совершенствование программного обеспечения, улучшение точностных характеристик вычисляемых эфемерид НКА и повышение оперативности получения конечного результата. Исходными данными для расчётов являются часовые RINEX-файлы (в форматах d/g/n), содержащие результаты измерений кодовых и фазовых псевдодалностей на двух несущих частотах. Эти данные получены станциями слежения за спутниками ГНСС, входящими в глобальную сеть IGS. Общее количество станций, данные которых используются в расчётах, варьируется от 450 до 700. В течение одних суток формируются четыре файла в формате SP3, каждый из которых содержит данные по эфемеридам и временным поправкам спутников ГНСС за двое суток по аналогии с оперативными (ultra rapid) данными по эфемеридам, формируемыми зарубежными аналитическими центрами IGS (США) и NOAA/NGS (США) ([сайт]. URL: <https://www.ngs.noaa.gov/>). Первая половина каждого файла – оценённая часть – содержит ЭВИ, полученную по результатам обработки данных измерений. Вторая половина файла – спрогнозированная часть – содержит ЭВИ, полученную на основе прогнозирования. В течение суток, обозначаемых как *wwwwd*, где *wwww* и *d* – неделя и день GPS соответственно, создаются следующие файлы, перечисленные в порядке их формирования: VNUwwwwd_00.SP3, VNUwwwwd_06.SP3, VNUwwwwd_12.SP3 и VNUwwwwd_18.SP3. Аббревиатура VNU происходит от VNIIFTRI и Ultra-rapid. Через подчеркивание указан сдвиг в часах от начала предыдущих суток до того момента времени, начиная с которого в файле приведены оценённые значения эфемерид и временных поправок. Например, первый из вышеперечисленных файлов VNUwwwwd_00.SP3 содержит оценённые значения эфемерид и поправок часов спутников с 00:00 до 23:59 предыдущих суток (*wwwwd-1*) и спрогнозированные значения этих величин с 00:00 до 23:59 текущих суток, что схематично представлено на рис. 1, а.

Часовые RINEX-файлы в форматах d/g/n скачиваются с ftp-серверов международных баз данных: информационно-аналитического Центра СОД ЦНИИмаш КВНО ГЛОНАСС (ИАЦ), РФ; Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS), США; Европейского центра определения орбит, г. Берн, Швейцария. Как показывает

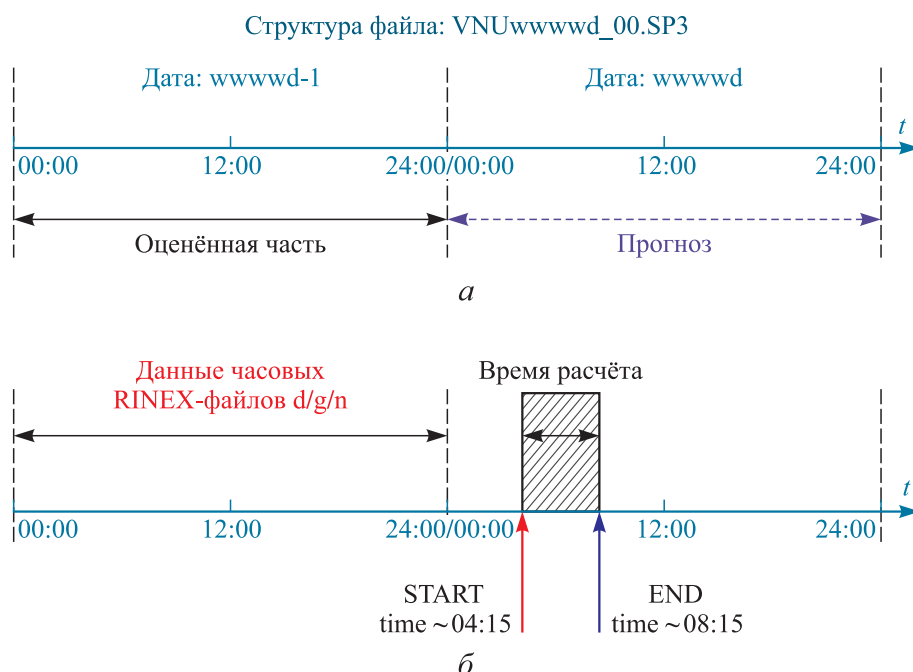


Рис. 1. Временная диаграмма формирования файла VNUwwwwd_00.SP3 в оперативном режиме

Fig. 1. The time diagram of VNUwwwwd_00.SP3 file generation in ultra rapid mode

практика, часовые RINEX-файлы поступают на серверы международных баз данных примерно с четырёхчасовой задержкой, откуда они скачиваются в автоматическом режиме в базу данных ГМЦ ГСВЧ. Запуск программы вычислений эфемерид и временных поправок НКА ГНСС происходит автоматически после проверки необходимого количества скачанных файлов. Примерно через четыре часа вычислений создаётся файл с оперативной ЭВИ НКА ГНСС. На рис. 1, б показана временная диаграмма формирования файла VNUwwwwd_00.SP3. В табл. 2 приведено расписание выпуска каждого из четырёх типов файлов, а также временные интервалы, к которым относятся содержащиеся в этих файлах данные.

Результаты расчётов. Для контроля точности вычисления эфемерид и временных поправок НКА ГНСС по разработанной в ГМЦ ГСВЧ методике были проведены тестовые расчёты. Далее представлены некоторые из них за четыре последовательные даты (выбраны случайно), начиная с 30.05.2018 и заканчивая 03.06.2018. При этом для анализа были взяты файлы оперативных данных, соответствующих шестичасовому сдвигу: VNU20033_06.SP3, VNU20034_06.SP3, VNU20035_06.SP3, VNU20036_06.SP3.

Оценка точности эфемерид НКА GPS и ГЛОНАСС, вычисленных в ГМЦ ГСВЧ, осуществлялась путём их сравнения (координат спутников) с апостериорными эфемеридами, полученными зарубежными Центрами IGS и NOAA/NGS. При этом оценённые и спрогнозированные значения эфемерид и временных поправок сравнивались отдельно.

Значения среднеквадратичных погрешностей оценённых (VNF) эфемерид НКА оказались: для GPS не более 2 см, а для ГЛОНАСС – не более 5 см. Значения среднеквадратичных погрешностей спрогнозированных (VNP) эфемерид НКА составили: для GPS примерно 6 см, для ГЛОНАСС – порядка 10 см. Вычисления СКП для каждой из систем производились по всем НКА в совокупности.

В табл. 3 приведены среднеквадратичные погрешности временных поправок для различных Центров, а также для оценённой части файлов оперативных данных (VNF) и прогноза (VNP) (показано полужирным шрифтом). Сравнение осуществлялось с апостериорными значениями временных поправок IGS на четырёх следующих друг за другом суточных интервалах, начиная с 06:00 30.05.2018 и заканчивая 05:59 03.06.2018. Так, например, интервал 1 начинался в 06:00 30.05.2018 и заканчивался в 05:59 31.05.2018. Аналогичные данные для временных поправок ГЛОНАСС приведены в табл. 4. Сравнение осуществлялось с опорными значениями. В табл. 3, 4 использованы следующие аббревиатуры Центров: IGS – Международная служба Глобальных навигационных спутниковых

систем (США); COD – Европейский центр определения орбит (Астрономический институт г. Берн, Швейцария); GFZ – Центр геодезических исследований (г. Потсдам, Германия); GRG – Национальный центр космических исследований (Франция); EMX – Министерство природных ресурсов Канады (Канада); ESA – Европейское космическое агентство (Германия); IAC – Информационный аналитический центр ГЛОНАСС (ЦНИИМАШ, Российская Федерация); IGL – Центр обработки и анализа данных – NOAA/NGS (США); MIT – Массачусетский технологический институт (США); PMK – система высокоточного определения эфемерид и временных поправок (СВОЭВП) (Российская Федерация); BRD – данные навигационных сообщений; VNF, VNP – оценённая и спрогнозированная части данных ГМЦ ГСВЧ (ВНИИФТРИ, Российская Федерация) соответственно.

Если эфемериды НКА ГЛОНАСС формируются Центром NOAA/NGS путём совместной обработки данных восьми Центров, и поэтому могут выступать в качестве опорных значений, то временные поправки, записываемые в файл IGLwwwd.SP3, отличаются от аналогичных значений, передаваемых в навигационных сообщениях, лишь сдвигом. Поэтому временные поправки IGL, как и поправки из навигационных сообщений, не могут быть приняты в качестве опорных значений, и в случае ГЛОНАСС производилось построение опорного временного ряда $\delta_{k,Ref}^i$ в соответствии с описанным в [3] методом по следующим формулам:

$$\delta_{k,Ref}^i = \sum_{j=1,...,N} \delta_{k,j}^i \sigma_j^{-2} / \sum_{j=1,...,N} \sigma_j^{-2};$$

$$\sigma_j = \left(\frac{1}{N_{Sat}K} \sum_{j=1,...,N_{Sat}} \sum_{k=1,...,K} (\delta_{k,j}^i - \bar{\delta}_k^i)^2 \right)^{1/2};$$

$$\bar{\delta}_k^i = \frac{1}{N} \sum_{j=1,...,N} \delta_{k,j}^i,$$

где k – номер эпохи; i, j – индексы спутника и Центра соответственно; N – количество Центров; $\delta_{k,j}^i$ – временные поправки i -го спутника, оценённые j -м Центром в эпоху k ; σ_j – сигма j -го Центра; N_{Sat} – количество спутников; K – число эпох.

На рис. 2 представлены временные поправки для НКА ГЛОНАСС с системным номером PRN=R03 (выбор номера НКА случайный), оценённые различными Центрами за период с 06:00 31.05.2018 до 05:59 01.06.2018. Также на рис. 2 приведены опорные данные REF, полученные как средневзвешенное результатов Центров ESA, GRG, IAC, PMK, VNF. Другие данные при формировании опорных значений не использовались.

Так как временные поправки $\delta_{VNF,k}^i$ ГМЦ ГСВЧ (VNF) вычисляли по шкале времени GPS, то для сравнения

Таблица 2

Расписание формирования файлов, содержащих оперативную ЭВИ

Файл	Время выпуска	Часть интервала данных	
		оценённая	спрогнозированная
VNUwwwd_00.SP3	~08:15	00:00(–24)–23:59(–24)	00:00–23:59
VNUwwwd_06.SP3	~14:15	06:00(–24)–05:59	06:00–05:59(+24)
VNUwwwd_12.SP3	~20:15	12:00(–24)–11:59	12:00–11:59(+24)
VNUwwwd_18.SP3	~02:15(+24)	18:00(–24)–17:59	18:00–17:59(+24)

Таблица 3

Среднеквадратичные погрешности, нс, временных поправок НКА GPS, оценённых различными Центрами

Интервал	Центр								
	COD	EMX	ESA	GFZ	GRG	MIT	PMK	VNF	VNP
1	0,692	1,095	1,406	0,353	0,165	2,246	3,771	0,294	–
2	0,701	1,550	0,872	0,379	0,166	2,306	3,543	0,410	1,930
3	0,636	1,294	1,157	0,376	0,167	2,255	3,897	0,467	1,854
4	0,636	0,764	1,289	0,389	0,151	2,305	3,894	0,625	1,709

Таблица 4

Среднеквадратичные погрешности, нс, временных поправок НКА ГЛОНАСС, оценённых различными Центрами

Интервал	Центр					
	ESA	GRG	IAC	PMK	VNF	VNP
1	3,418	1,524	2,544	7,381	0,675	–
2	3,315	1,768	2,480	6,977	0,614	5,663
3	3,491	2,072	2,231	6,946	0,609	4,405
4	4,053	2,297	1,392	6,564	0,975	6,468

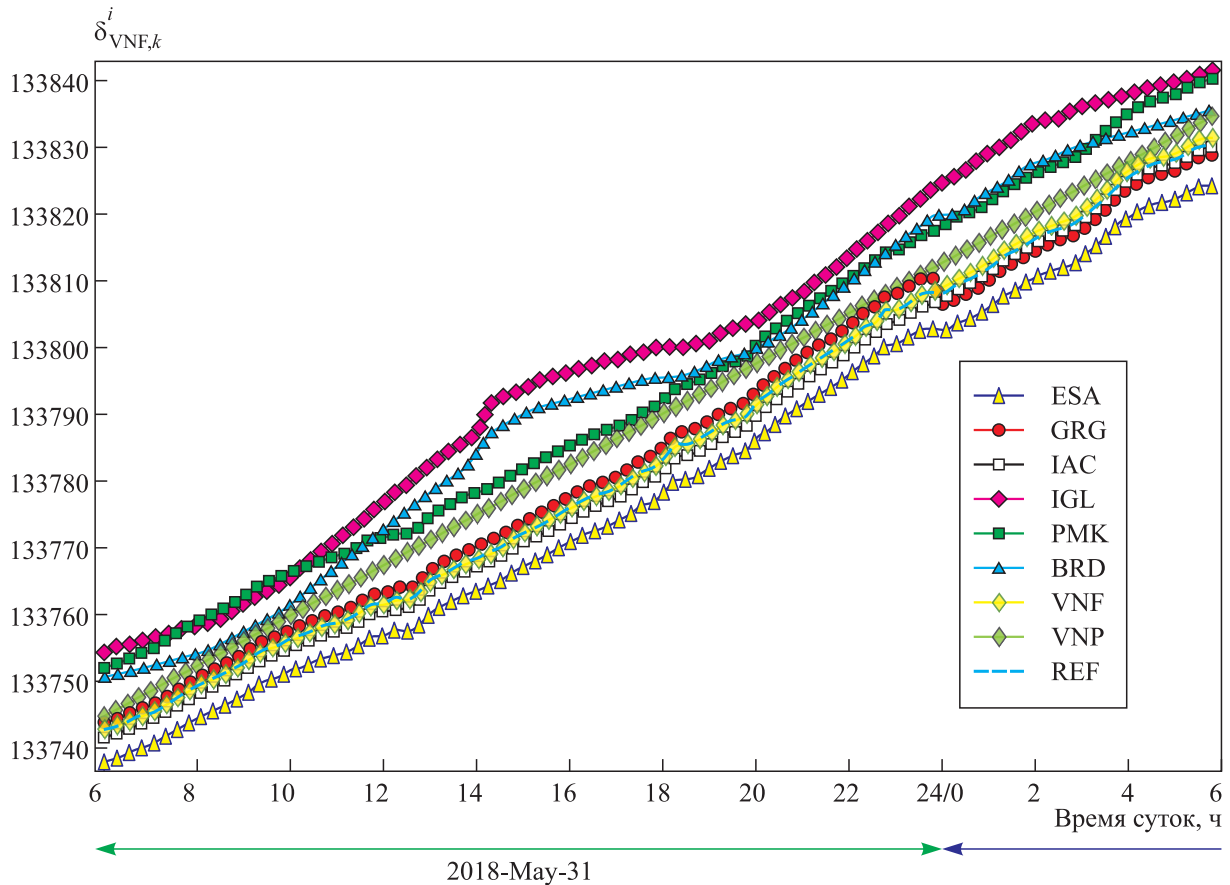


Рис. 2. Временные поправки НКА ГЛОНАСС (PRN=R03), полученные в ГМЦ ГСВЧ в оперативном режиме: VNF – оценённая часть; VNP – прогноз с предыдущих суток. Сравнение оцененных значений временных поправок с аналогичными апостериорными значениями других Центров

Fig. 2. GLONASS Satellite clock corrections (PRN=R03) estimated in MMC SSTF in ultra rapid mode: VNF – estimated part, VNP – prediction part derived from the previous day. Comparison of estimated values of clock corrections with similar aposteriori values of other Analysis Centers

с результатами других центров эти значения были приведены к шкале времени ГЛОНАСС. Процедура приведения временных поправок $\delta_{j,k}^i$ j -го Центра к шкале времени ГЛОНАСС состоит в следующем преобразовании:

$$\delta_{j,k}^{*i} = \delta_{j,k}^i - \Delta T - d \Delta t_k, \quad k = 1, \dots, K,$$

где $\delta_{j,k}^{*i}$ – временные поправки, приведённые к системной шкале времени; $\Delta t_k = t_k - t_1$ – временной интервал между k -й и первой эпохами; ΔT , d – параметры смещения и дрейфа соответственно, подлежащие определению.

Значения параметров ΔT , d находятся из решения вариационной задачи по минимизации функционала:

$$\sum_{j=1, \dots, N_{Sat}} \sum_{k=1, \dots, K} \left| \delta_{j,k}^i - \Delta T - d \Delta t_k - \delta_{BRD,k}^i \right| \frac{1}{\Delta T, d} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\delta_{BRD,k}^i$ – временные поправки, полученные из навигационных сообщений (BRD) НКА ГЛОНАСС.

Функционал вида (1), являющийся аналогом L_1 -нормы, более устойчив к грубым измерениям (выбросам) во временных рядах $\delta_{BRD,k}^i$ по сравнению с функционалом, представляющим среднеквадратичное отклонение. Тем не менее, грубые измерения в навигационных данных могут отрицательно повлиять на точность оцениваемых параметров. Чтобы устранить выбросы из временных рядов $\delta_{BRD,k}^i$, применяется следующая процедура, состоящая из двух шагов. На первом шаге для каждого i -го НКА из ряда $\delta_{BRD,k}^i$ вычитается составляющая дрейфа:

$$\hat{\delta}_{BRD,k}^i = \delta_{BRD,k}^i - \bar{d}_{BRD}^i (t_k - t_1),$$

где $\bar{d}_{BRD}^i$ – среднее значение дрейфа, вычисленное по значениям $d_{BRD,k}^i$ дрейфа в моменты t_k из файла навигационных сообщений.

На втором шаге процедуры детектирования выбросов к временным рядам $\hat{\delta}_{BRD,k}^i$ применяется алгоритм из [9]. Далее при определении параметров ΔT , d , минимизирующих

Таблица 5

Установленные среднеквадратичные погрешности определения эфемерид и временных поправок НКА ГЛОНАСС и GPS в оперативном режиме

Параметры	Часть интервала данных	
	оценённая	спрогнозированная
Эфемериды НКА GPS, м	~0,017	<0,06
Эфемериды НКА ГЛОНАСС, м	~0,045	<0,1
Временные поправки GPS, нс	<1,0	~3,0
Временные поправки ГЛОНАСС, нс	<1,0	~5,0

функционал (1), все найденные выбросы предварительно удаляются из рядов $\delta_{BRD,k}^i$.

Из-за возможных междусуточных скачков в рядах $\delta_{j,k}^i$, процедура приведения шкалы времени j -го Центра к системной шкале времени ГЛОНАСС должна применяться только на суточных временных интервалах от 0:00 до 23:59. В свою очередь, выравнивание шкалы времени j -го Центра с системной шкалой времени позволяет устранить междусуточные скачки в значениях временных поправок этого Центра. Так, например, чтобы устранить междусуточные скачки в рядах временных поправок Европейского космического агентства (ESA), достигающие нескольких десятков наносекунд, к временным поправкам этого Центра была применена описанная выше процедура приведения к системной шкале времени ГЛОНАСС.

Заключение. Разработан программно-аппаратный комплекс для получения ЭВИ КА ГНСС в оперативном режиме. Значения среднеквадратичных погрешностей оценённых в оперативном режиме эфемерид НКА GPS оказались не более 2 см, эфемерид НКА ГЛОНАСС порядка 4–5 см. Значения среднеквадратичных погрешностей спрогнозированных в оперативном режиме эфемерид НКА оказались примерно 6 см и 10 см по всем НКА систем GPS и ГЛОНАСС соответственно. Эти и другие результаты проведённых тестовых расчётов отражены в табл. 5.

При вычислениях использовали программные модули Бернского ППО обработки ГНСС-измерений версии 5.2 (Bernese Software, Version 5.2) [10], некоторые из которых были адаптированы к распараллеливанию, бернское ядро обработки BPE (Bernese Processing Engine), методы BPE, позволяющие также вести обработку на многопроцессорных вычислительных системах в параллельном режиме. Ряд новых разработанных программ и скриптов был имплементирован в BPE. При написании программ и скриптов использовали языки программирования FORTRAN-90, Delphi XE7, Perl 6.0.

Список литературы

1. Перов А. И., Харисов В. Н. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010.

2. Beutler G., Kouba J. and Springer T., *Bulletin Géodésique*, 1995, vol. 69, iss. 4, pp. 200–222. DOI: 10.1007/BF00806733

3. Kouba J., Mireault Y., Lahaye F., (1995) 1994 IGS orbit/clock combination and evaluation, Appendix 1 of the analysis coordinator report, international GPS Service For Geodynamics 1994 Annual Report, Jet Propulsion Laboratory publication 95–18, pp. 70–94.

4. Kouba J. and Mireault Y., 1996, IGS Analysis Coordinator Report, International GPS Service for Geodynamics (IGS) 1995 Annual Report, pp. 45–76.

5. Kouba J. and Y. Mireault, 1997, Analysis Coordinator Report, International GPS Service for Geodynamics (IGS) 1996 Annual Report, pp. 55–100.

6. Weber R., 2000, *IGS Technical Report 1999*.

7. Безменов И. В., Пасынок С. Л., Формирование опорных значений координат и поправок часов КА ГЛОНАСС // Альманах современной метрологии. 2015. № 2. С. 143–158.

8. Безменов И. В., Пасынок С. Л., Определение эфемеридно-временной информации космических аппаратов ГНСС в срочном режиме по данным измерений // Альманах современной метрологии. 2017. № 11. С. 104–120.

9. Безменов И. В., Наумов А. В., Пасынок С. Л. Эффективный алгоритм устранения выбросов из данных измерений глобальных навигационных спутниковых систем // Измерительная техника. 2018. № 9. С. 26–30. DOI: 10.32446/0368-1025it.2018-9-26-30

10. Dach R., Andritsch F., Arnold D., Bertone S., Fridez P., Jäggi A., Jean Y., Maier A., Mervart L., Meyer U., Orliac E., Ortiz-Geist E., Prange L., Scaramuzza S., Schaer S., Sidorov D., Sušnik A., Villiger A., Walser P., Baumann C., Beutler G., Bock H., Gäde A., Lutz S., Meindl M., Ostini L., Sošnica K., Steinbach A., Thaller D., *Bernese GNSS Software Version 5.2* / ed. by R. Dach, S. Lutz, P. Walser, P. Fridez. Astronomical Institute, University of Bern, 2015.

References

1. A. I. Perov and V. N. Kharisov, *GLONASS: Principles of Construction and Operation*, Radiotekhnika, Moscow (2010), 4th ed.

2. Beutler G., Kouba J. and Springer T., *Bulletin Géodésique*, 1995, vol. 69, iss. 4, pp. 200–222. DOI: 10.1007/BF00806733

3. Kouba J., Mireault Y., Lahaye F., (1995) 1994 IGS orbit/clock combination and evaluation, Appendix 1 of the analysis coordinator report, international GPS Service For Geodynamics 1994 Annual Report, Jet Propulsion Laboratory publication 95–18, pp. 70–94.

4. Kouba J. and Mireault Y., 1996, IGS Analysis Coordinator Report, International GPS Service for Geodynamics (IGS) 1995 Annual Report, pp. 45–76.

5. Kouba J. and Mireault Y., 1997, Analysis Coordinator Report, International GPS Service for Geodynamics (IGS) 1996 Annual Report, pp. 55–100.

6. Weber R., 2000, *IGS Technical Report 1999*.

7. Bezmenov I. V., Pasynok S. L., *Al'manac of Modern Metrology*, 2015, no. 2, pp. 143–158 (in Russian).

8. Bezmenov I. V., Pasynok S. L., *Al'manac of Modern Metrology*, 2017, no. 11, pp. 104–120 (in Russian).

9. Bezmenov I. V., Naumov A. V. and Pasynok S. L., *Measurements Techniques*, 2018, vol. 61, no. 9, pp. 878–884. DOI: 10.1007/s11018-018-1518-y

10. Dach R., Andritsch F., Arnold D., Bertone S., Fridetz P., Jäggi A., Jean Y., Maier A., Mervart L., Meyer U., Orliac E.,

Ortiz–Geist E., Prange L., Scaramuzza S., Schaer S., Sidorov D., Sušnik A., Villiger A., Walser P., Baumann C., Beutler G., Bock H., Gäde A., Lutz S., Meindl M., Ostini L., Sošnica K., Steinbach A., Thaller D., *Bernese GNSS Software Version 5.2* / ed. by R. Dach, S. Lutz, P. Walser, P. Fridetz. Astronomical Institute, University of Bern, 2015.

Дата поступления: 15.11.2019.

Дата принятия: 29.11.2019.

Estimation of precise orbits and clock corrections of GLONASS and GPS navigation satellites in ultra-rapid regime based on observation data

Igor V. Bezmenov

Russian metrological institute of technical physics and radio engineering (VNIIFTRI), Mendeleevo, Moscow Region, Russian Federation, e-mail: bezmenov@vniiftri.ru

The article presents the results on development of an algorithm and a program for calculation in ultra-rapid regime of ephemeris-time information for GLONASS and GPS navigation satellites, achieved by now in the Main metrological center of the state service of time and frequency and determination of earth rotation parameters of VNIIFTRI. Calculation of ephemeris-time information is carried out by data of code and phase measurements at two carrier frequencies. The measurement data are presented in the form of hourly RINEX observation files and navigation message files from tracking stations involved in the IGS (International GNSS Service) network. Results of test calculations of ephemeris and clock corrections of GLONASS and GPS navigation satellites are presented. The analysis of the accuracy of the obtained results compared to the a posteriori data of other analysis centers is given.

Key words: navigation satellite, global navigation satellite systems (GNSS), ephemerides and clock corrections, analysis centers, hourly RINEX-files, International GNSS service (IGS).