
УДК 629.78

Повышение точности определения местоположения потребителей ГЛОНАСС путем увеличения частоты закладок временной информации на спутники

А.В. Куршин

Аннотация:

В данной статье показана возможность повышения точности определения местоположения потребителя спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС путем увеличения частоты закладок временной информации на спутники. Предложен алгоритм оценки ухода часов спутника относительно системного времени, приведены результаты моделирования закладок временной информации с разными интервалами.

Ключевые слова: уход часов навигационного спутника, закладка временной информации на навигационные спутники.

1. Введение

ГЛОНАСС сегодня — это стратегический элемент необходимой государственной инфраструктуры национальной безопасности и экономики. Дальнейшее совершенствование национальной спутниковой системы глобального позиционирования является важнейшим условием успешного развития такой географически протяженной страны, как Россия. Наличие высокоточной системы навигации позволяет активно развиваться ряду стратегически важных для страны областей, начиная от добычи полезных ископаемых и заканчивая транспортной инфраструктурой. Современное положение дел, когда большинство гражданских потребителей пользуются услугами американской навигационной системы GPS, не отвечает интересам нашей страны, поскольку ставит отечественных потребителей в зависимость от действий иностранного государства. Кроме того, сама орбитальная структура GPS оптимизирована для потребителей на территории США, и неудовлетворительно работает в северных широтах. Всё это свидетельствует о необходимости модернизации национальной глобальной

навигационной системы ГЛОНАСС для удовлетворения нужд отечественных потребителей и обеспечения национальной безопасности.

Одна из причин, мешающих массовому использованию ГЛОНАСС гражданскими потребителями России – существенно уступающие по сравнению с GPS, показатели точности определения местоположения потребителя. На сегодняшний момент точность определения местоположения потребителя GPS составляет 3.6 м (2σ), ГЛОНАСС 8 м (2σ). [1] Основную погрешность в определение местоположения с использованием ГЛОНАСС приведены в таблице 1.

Таблица 1. Погрешности навигационных измерений ГЛОНАСС

Источник погрешности	Погрешность изменений (2σ)	% от общей погрешности
Погрешность эфемерид навигационного спутника	2 м	25%
Погрешность бортовых часов спутника	12 нс (≈ 4 м)	50%
Погрешность, вносимая влиянием атмосферы (ошибки компенсации тропосферной и ионосферной задержки)	1 м	12.5%
Шум приемника	0.5 м	6.25%
Многолучевость	0.5 м	6.25%
Итого	8 м	100%

Таким образом, около половины всей погрешности определения местоположения приносят бортовые часы спутника. Погрешность часов спутника, в свою очередь, возникает из-за:

- Суточной нестабильности бортового стандарта частоты и времени: цезиевых часов с суточной нестабильностью $\approx 5 \cdot 10^{-13}$ с, уступающей используемым в спутниках GPS рубидиевых часов с суточной нестабильностью $\approx 1 \cdot 10^{-14}$ с, [2]
- Относительно редкая (раз в 12 часов) закладка на спутник оперативной эфемеридно-временной информации (ЭВИ), не позволяющая с должной точностью спрогнозировать поведение часов спутника. [3]

Рассмотрим более подробно структуру погрешности, вносимой бортовыми часами спутника. На рисунке 1 и 2 показан сдвиг шкалы времени спутника ГЛОНАСС №12 и 22 относительно шкалы системного времени, взятого из финального CLK-файла, подготовленным International GNSS Service (IGS), и из эфемеридной информации, передаваемым со спутника. Ошибки временного обеспечения спутников ГЛОНАСС, полученные как разница между данными IGS и бортовой временной информацией, приведены в таблице 2.

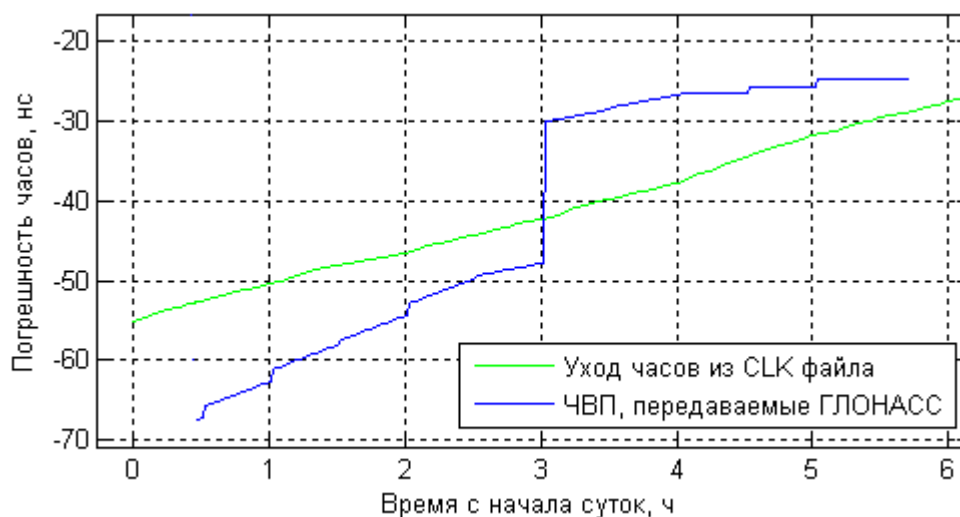


Рис. 1. Сдвиг шкалы времени КА ГЛОНАСС №12 относительно системного времени



Рис. 2. Сдвиг шкалы времени КА ГЛОНАСС №22 относительно системного времени

Таблица 2. Ошибка временного обеспечения спутников ГЛОНАСС

№ спутника	Ошибка (2σ), нс	№ спутника	Ошибка (2σ), нс	№ спутника	Ошибка (2σ), нс
1	3.4	9	22.8	17	28.4
2	9.6	10	8	18	18.6
3	14.2	11	7.4	19	4.2
4	7.2	12	18.6	20	14.8
5	5.2	13	8	21	10.2
6	25	14	5.4	22	10.6
7	21.8	15	15	23	6.2
8	10.4	16	17.4	24	8.6
Средняя ошибка для всех спутников (2σ), нс			12.3		

Как видно по данным таблицы 2, сдвиг шкалы спутниковых часов относительно системного времени, передаваемый в эфемеридах, существенно отличается от данных IGS. Причем, как видно на рисунках 1 и 2, флуктуации часов относительно линии тренда существенно меньше, чем систематическая ошибка при оценке ухода часов КИК ГЛОНАСС, заложенные в бортовые эфемериды.

Принимая во внимание наличие на спутниках ГЛОНАСС-М, составляющих основу космического сегмента ГЛОНАСС, межспутниковых информационных линий связи, а также возможность ввода в эксплуатацию дополнительных станций закладки ЭВИ, рассмотрим возможность повышения точности часов спутника за счет уменьшения интервала между закладками ЭВИ. [4]

Для моделирования закладок ЭВИ с требуемым интервалом решаем навигационную задачу, в которой уход часов спутников рассчитывается не по данным эфемерид, а путем прогнозирования ухода часов спутника на основе данных IGS.

2. Математическое описание

Для оценки ухода часов i -го спутника b_i на момент времени t воспользуемся полиномом 1 порядка:

$$b_i(t) = a_0 + a_1(t - t_{\text{опорн}}), \quad (1)$$

где a_0, a_1 – коэффициенты полинома, описывающий прогнозные значения ухода часов спутника относительно системного времени, составленный на момент опорного времени $t_{\text{опорн}}$ на основе интервала предыстории длительностью $t_{\text{инт}}$.

Коэффициенты a_0, a_1 рассчитываются путем аппроксимации апостериорных данных об уходе часов i -го спутника (интервал предыстории) полиномом 1 порядка:

$$a_0 = \frac{t_2 b_1 - t_1 b_2}{t_2 - t_1}, \quad a_1 = \frac{b_2 - b_1}{t_2 - t_1}, \quad (2)$$

где $t_1 = t_{\text{опорн}} - \frac{3}{4} t_{\text{инт}}, t_2 = t_{\text{опорн}} - \frac{1}{4} t_{\text{инт}},$

b_1, b_2 – осредненный уход часов:

$$b_{1,2} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j, \quad n - \text{количество измерений.} \quad (3)$$

b_1 рассчитывается на интервале $(t_{\text{опорн}} - t_{\text{инт}}) \dots (t_{\text{опорн}} - \frac{1}{2} t_{\text{инт}}),$

b_2 рассчитывается на интервале $(t_{\text{опорн}} - \frac{1}{2} t_{\text{инт}}) \dots t_{\text{опорн}}$ (см. рис. 3).

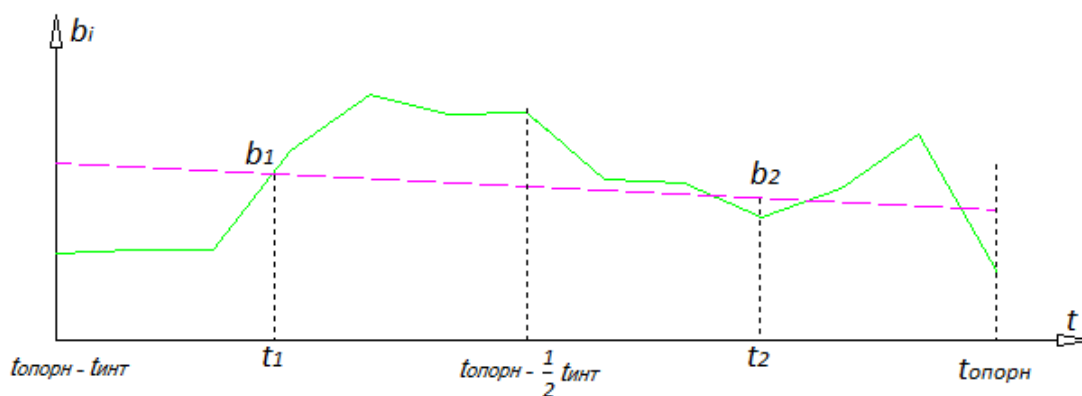


Рис. 3. Аппроксимация интервала предыстории ухода часов i -го спутника

3. Результаты

Для моделирования закладок ЭВИ на спутники ГЛОНАСС был проведен расчет прогнозного ухода часов на основе финальных CLK файлов, полученных IGS. Эти файлы содержат сдвиг спутниковых часов ГЛОНАСС относительно системного времени, вычисленные путем апостериорной обработки данных глобальной сети станций наблюдения.

В качестве навигационных измерений использовались данные навигационного приемника ГЛОНАСС, работающего в частотных диапазонах L1 и L2 и использованием сигналов ПТ. Интервал наблюдения – 24 часа. Координаты потребителя – привязанная точка 55°с. ш. 37°в. д. (г. Москва)

Результаты, приведенные в таблице 3 и на рисунке 4, показывают, что при уменьшении интервала между закладками ЭВИ существенно снижается погрешность определения местоположения потребителя.

Таблица 3. Расчетные погрешности ГЛОНАСС при разной частоте закладки ЭВИ

Частота закладок ЭВИ	1 час	2 часа	4 часа	8 часов	Бортовые эфемериды
Погрешность в горизонтальной плоскости (2σ), м	2.43	3.05	3.51	4.12	6.39
Погрешность по высоте (2σ), м	2.60	2.84	3.64	4.24	6.04
Пространственная (3D) погрешность (2σ), м	3.56	4.17	5.06	5.91	8.81

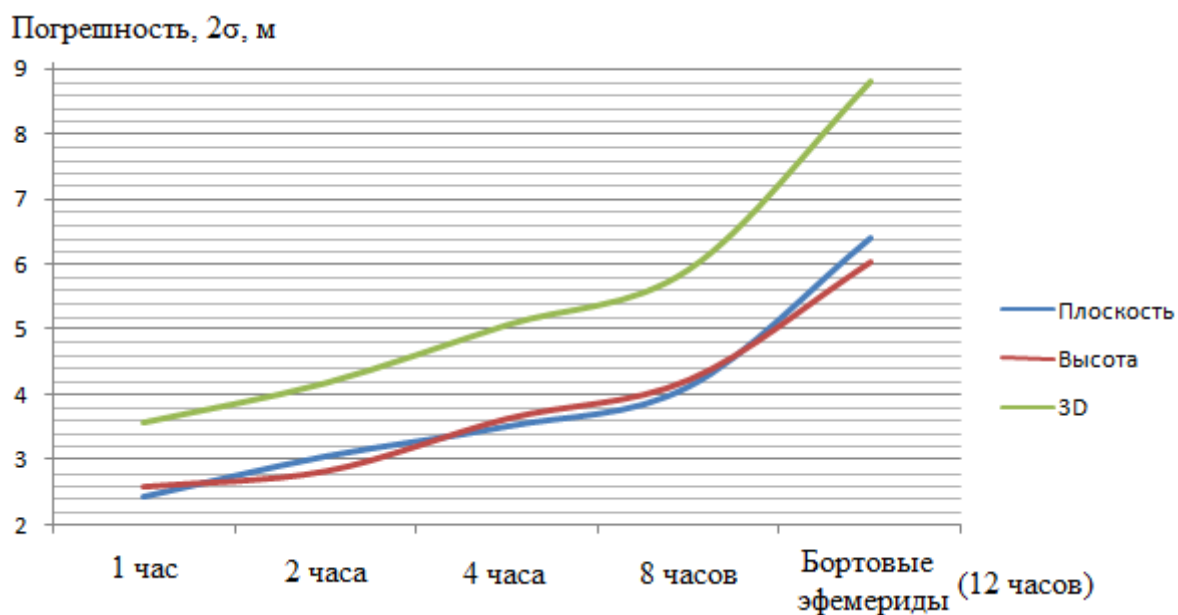


Рис. 4. Расчетные погрешности ГЛОНАСС при разной частоте закладки ЭВИ

4. Выводы

Представленные в данной работе расчеты показали, что основную вклад в погрешность определения местоположения потребителя с использованием спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС вносят погрешность оценки ухода спутниковых часов относительно системного времени. Был рассмотрен способ повышения точности передаваемых оценок ухода бортовых часов спутника путем изменения алгоритма прогнозирования поведения бортовых часов, и уменьшения интервала между закладками полученной ЭВИ на борт навигационного спутника.

Полученные результаты показывают эффективность данного способа повышения точности оценки ухода бортовых часов. При интервале между закладками 1 час (передача данных по межспутниковым линиям связи) пространственная погрешность определении местоположения потребителя составила 3.56м (2σ), при интервале 8 часов (передача данных с новой станции закладки ЭВИ) составит 5.91м (2σ). Точность повысилась соответственно на 55% и 25% по сравнению с текущими бортовыми эфемеридами.

5. Заключение

Достоинством представленного метода повышения точности оценки ухода бортовых часов является возможность применения уже на введенных в эксплуатацию спутников ГЛОНАСС, путем изменения алгоритма закладки ЭВИ.

Недостатком представленного метода является необходимость создания глобальной сети измерительных станций.

Библиографический список:

1. Интернет-сайт информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения ГЛОНАСС, www.glonass-ianc.rsa.ru/
2. Толстиков А.С. Алгоритмы синхронизации пространственно-разнесенных часов по сигналам спутниковых навигационных систем / Метрология, приложение к журналу «Измерительная техника». 2009. № 9. с. 25-35.
3. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. — 3-е изд., перераб. М.: Радиотехника, 2005. 688 с.
4. «Состояние и планы развития ГЛОНАСС», Г. Г. Ступак, Доклад на V Международном форуме по спутниковой навигации, Турин, Италия, 2010. с. 4-8.

Сведения об авторах:

Куршин Андрей Владимирович, студент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел: 8-917-599-08-14, e-mail: avkurshin@mail.ru