

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В Российском радионавигационном плане под целостностью радионавигационной системы (РНС) понимается ее способность выдавать потребителю своевременное и достоверное предупреждение в тех случаях, когда какие-либо сигналы нельзя использовать по целевому назначению в полном объеме [1].

Аналогичное определение целостности дано в Федеральном радионавигационном плане США. Согласно этому документу, под целостностью РНС понимается способность данной системы своевременно обеспечивать предупреждения о том, когда данная система не может быть использована для навигации [2].

Численно целостность системы определяется следующими характеристиками:

- пороговое значение ошибки определения места (предел тревоги [2]) – D_b ;
- допустимое время предупреждения о достижении D_b (задержка сигнала оповещения об отказе [2]) – t_n ;
- вероятность оповещения потребителя в пределах t_n при достижении D_b (предел тревоги [2]) – P_n ;
- частота выдачи предупреждений – $f_{пр}$.

Основные обобщенные требования к радионавигационному обеспечению воздушных, морских, речных, наземных и космических потребителей приведены в таблице 2.16 Российского радионавигационного плана [1].

Международные требования к навигационному обеспечению самолето- и кораблевождения определены в документах международных организаций ИКАО [3].

Анализ этих требований показывает, что самые высокие требования к уровню контроля целостности предъявляют воздушные потребители, особенно при заходе на посадку:

- некатегоризированном – целостность должна контролироваться с вероятностью $P_n = 1 \cdot 10^{-7}$ за $t_n = 10$ секунд с пороговым значением ошибки определения места $D_b = 110$ м;
- по категориям ИКАО – целостность должна контролироваться с вероятностью $P_n = 1 \cdot 2 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 2 \cdot 10^{-9}$ за время, не превышающее $t_n = 1-6$ секунд с пороговым значением ошибки определения места $D_b = 0,3-8,5$ м.

В настоящее время контроль целостности глобальных навигационных систем (ГНСС) ведется тремя основными способами:

- организацией внешнего контроля целостности;
- применением способов автономного контроля целостности аппаратурой потребителей;
- использованием средств бортовой диагностики.

Внешний контроль целостности навигационного поля ГНСС организуется с помощью наземной подсистемы контроля и управления (ПКУ), с использованием средств которой время обнаружения неисправного спутника t_n в российской системе ГЛОНАСС может достигать 16 часов [4], а в американской системе GPS – 6 часов [2], что значительно превышает требуемое.

Автономный контроль целостности ГНСС – RAIM (receiver autonomous integrity monitoring) – производится непосредственно в приемнике ГНСС. Для определения трех координат с помощью приемника ГНСС необходима обработка информации, поступающей от четырех спутников. При работе RAIM используется избыточность информации, поступающей, по крайней мере, от пяти спутников для обнаружения недопустимых позиционных ошибок (отказа) и, по



крайней мере, от шести — для обнаружения (изоляции) спутника, поставляющего ошибочную информацию [2].

Российская ГЛОНАСС и американская GPS проектировались для гарантированного обеспечения видимости не менее четырех спутников в любой точке Земли при полном созвездии из 24 спутников. Одновременное наличие в зоне видимости 5 или 6 спутников не имеет 100-процентной вероятности, а при выходе из строя одного или двух спутников вообще маловероятно. Таким образом, вероятность оповещения потребителя (в данном случае вероятность изоляции отказавшего спутника) $P_{\text{н}}$ будет значительно ниже требуемой.

Контроль целостности ГНСС на основании создания средств бортовой диагностики высокого уровня является в настоящее время одним из самых перспективных направлений и позволит в дальнейшем решить проблему целостности космических навигационных систем.

На спутниках СНС ГЛОНАСС предусмотрен непрерывный автономный контроль функционирования основных бортовых систем. При обнаружении нарушений работы систем, которые влияют на качество излучаемого радиосигнала или достоверность цифровой информации и не могут быть устранены внутренними средствами (например, включением резервного модуля), на спутнике формируется признак его неисправности, который передается потребителю в составе оперативной информации. Дискретность передачи такого признака составляет 30 с. Соответственно, максимальная задержка от момента обнаружения неисправности до момента передачи сообщения об этом не превышает 1 мин. В сигнале спутников серии ГЛОНАСС-М присутствует признак неисправности, передаваемый с дискретностью не более 4 с, что позволяет сократить задержку оповещения потребителей до 10 с [5].

Данный метод контроля целостности имеет один существенный недостаток. Он связан с практически невозможным нахождением бортовыми средствами диагностики ошибок, которые могут возникнуть при расчете эфемерид бортовыми вычислительными средствами.

Новым перспективным методом контроля целостности, позволяющим оперативно учитывать ошибки расчета, является метод орбитального контроля целостности глобальной навигационной спутниковой системы, или метод орбитального мониторинга инцидентов по вине оператора системы ГЛОНАСС.

Суть предлагаемого метода орбитального мониторинга заключается в следующем: на борту каждого космического аппарата ГЛОНАСС устанавливается комплект навигационной аппаратуры потребителей (НАП). Она принимает сигналы от других спутников системы, в область диаграммы направленности которых попадает данный космический аппарат (КА). Принимая штатный сигнал, на борту аппарата с помощью НАП можно измерить псевдодальность до источника излучения по временной задержке прохождения сигнала. Кроме того, в состав штатного сигнала входит информация о координатах излучившего его спутника (эфемериды). По принятым и известным собственным координатам КА можно рассчитать еще одно значение псевдодальности до источника сигналов. Определив разность между измеренным и рассчитанным значениями псевдодальности и сравнив ее со значением предельно допустимой погрешности, можно сделать вывод о достоверности излучаемой информации [6].

Сравнительный анализ основных характеристик известных методов контроля целостности глобальных спутниковых навигационных систем приведен в таблице 1.



Таблица 1.

№ п/п	Метод контроля целостности ГНСС	Характеристики контроля целостности	
		t_n — задержка сигнала оповещения об отказе	D_b — значение ошибки определения места
	Внешний контроль целостности	6–14 часов	
	Автономный контроль целостности аппаратурой потребителей (RAIM)		0,6–3,7 км [7]
	Использование средств бортовой диагностики	4–60 с	
	Орбитальный контроль целостности	1–4 с ¹	

Вышеприведенный анализ показывает, что ни один из известных методов контроля целостности не удовлетворяет требованиям к радионавигационному обеспечению основных групп потребителей. Это не дает возможности использовать навигационное оборудование ГНСС в качестве основного. Исключение составляет лишь предлагаемый метод орбитального контроля целостности, который в перспективе позволит обеспечить выполнение требований практически всех групп потребителей радионавигационной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Российский радионавигационный план. Утвержден приказом Минпромторга России от 02.09.2008 г. № 118.
2. Федеральный радионавигационный план США. Редакция 2008 г.
3. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP). 2-е изд. 1999.
4. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ (редакция 5.1). 2008 г.
5. Контроль целостности радионавигационного поля СНС ГЛОНАСС. URL: <http://www.seaman-sea.ru/glonass/510-kontrol-navigacionogopolja-glonass.html>.
6. Сенаторов М. Ю., Сятковский Р. Б. О безопасности глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС // Безопасность информационных технологий. 2011, № 1. С. 127–128.
7. Международная организация гражданской авиации. Производство полетов воздушных судов. Том I. Правила производства полетов. 5-е изд. 2006. URL: http://www.aerohelp.ru/data/432/8168_v1_cons_ru.pdf.

¹ Расчетные данные.

