УДК 528.2

Н.Н.Яковлев
Санкт-Петербургский филиал Военно-инженерного ун-та, Россия

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ ИЗМЕРЕНИЯМИ ПРИ РАСЧЕТЕ ОРБИТ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ОБОРУДОВАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ПРИЕМНОЙ АППАРАТУРОЙ

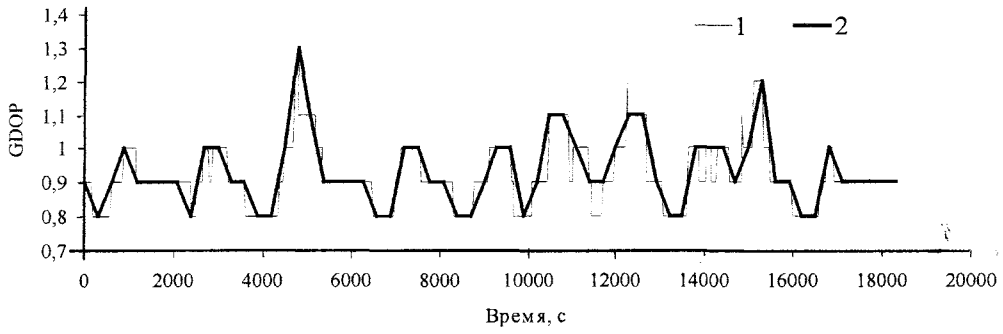
Предлагается методика определения оптимального интервала между измерениями для расчета орбит космических аппаратов с использованием навигационных измерений спутниковой радионавигационной системой ГЛОНАСС. Результаты исследований могут быть использованы при разработке космических аппаратов различного назначения.

The problems of selection measurement interval for satellite orbit determination with using GPS/GLONASS are regarded. Research results may be used in designing different satellite apparatus.

Для повышения точности определения орбит космических аппаратов (КА) необходимо выполнение условия оптимизации процесса наблюдений КА. Таким условием является равномерное и достаточно плотное распределение измерений в орбитальных дугах. Нарушение этого условия приведет к тому, что погрешность определений на интервалах, плотно заполненных измерениями, достигнет минимума и, наоборот, при уменьшении плотности погрешности определений возрастут. При расчете орбиты КА с использованием спутниковых радионавигационных систем это условие подразумевает выбор оптимального рабочего созвездия навигационных космических аппаратов (НКА) и интервала между измерениями. Вопросы выбора рабочего созвездия рассмотрены в работах [2-4]. Целью данной работы является определение оптимального интервала между траекторными измерениями при определении орбит космических аппаратов, оборудованных спутниковой приемной аппаратурой.

В качестве основного критерия для определения интервала рассматривается величина, характеризующая геометрию взаимного положения КА и рабочего созвездия навигационных космических аппаратов, в зарубежной литературе названного GDOP [1-4]. Следует обратить внимание на то, что при различных интервалах измерений на протяжении одного и того же промежутка времени значение GDOP будет изменяться разным образом: при увеличении временно́го интервала, например, от 60 до 300 с происходит сглаживание результатов определения GDOP (см. рисунок).

При увеличении интервала возникает так называемый эффект «размывания» [4], при котором часть качественных, с точки зрения геометрии взаимного положения КА, измерений не учитывается. Это приводит к искажению окончательно-



Изменение GDOP при интервале между измерениями 60 с (1) и 300 с (2)

го результата измерений. Поэтому возникает задача выбора максимального значения оптимальной дискретности измерений, позволяющей без существенных потерь учесть геометрию взаимного расположения КА относительно группировки НКА.

Данная задача может быть сформулирована следующим образом. Геометрический фактор GDOP представляет собой непрерывную функцию относительно времени, т.е. вся доступная информация будет получена, если измерения будут выполняться непрерывно. Исходя из того, что технические возможности приемной аппаратуры позволяют фиксировать измерения только на определенные моменты времени, значения GDOP необходимо воспринимать как дискретный сигнал. Следовательно, будет происходить потеря информации, так как функция GDOP будет представлена дискретным набором точек (соответствующих измерениям). Путем сравнения непрерывной и дискретной функции GDOP (с различными интервалами между измерениями) можно сделать вывод, насколько значительны потери вследствие различной дискретизации измерений и каков минимальный интервал измерений, позволяющий наиболее полно описать непрерывный сигнал. Данные исследования наиболее удобно выполнить методом спектрального анализа.

В качестве исследуемой принята функция GDOP(t) для КА с вектором начальных условий (НУ)

$$S = [a = 7370 \text{ км},\ e = 0{,}01, \Omega = 0'',$$

$$\omega = 0'',\ i = 60°,\ \tau = 0^s] \qquad (1)$$

и полной орбитальной группировки ГЛОНАСС. В ходе работы в качестве непрерывного принят сигнал с интервалом измерений, равным 1 с. Сравнивая амплитудные спектры непрерывной и дискретной функций GDOP, можно оценить потери информации вследствие дискретности измерений.

Спектр функции GDOP определялся на интервале T = 1 сутки (86400 с) с дискретностью $\Delta = 1$ с. Полученный сигнал характеризуется 43200 гармониками ($r = T/2\Delta = 43200$). При увеличении дискретности измерений, например до 120 с, количество гармоник в спектре сокращается ($r = 360$), остальные гармоники будут содержать высокочастотные составляющие сигнала, которые не могут быть представлены из-за дискретизации функции. Кроме того, к разностям двух спектров следует отнести разности амплитуд гармоник равных (низких) частот.

Общую оценку, учитывающую потерю измерительной информации вследствие увеличения интервалов измерений,

можно представить как среднеквадратическую разность двух амплитудных спектров, отнесенную к среднеквадратическому значению полного сигнала. Например, для дискретности измерений 120 с можно записать

$$P = \left[\frac{\sum_{i=1}^{360} (\bar{S}(\omega_i) - S(\omega_i))^2 + \sum_{i=361}^{43200} S^2(\omega_i)}{\sum_{i=1}^{43200} S^2(\omega_i)} \right]^{1/2} 100, \quad (2)$$

где S – амплитудный спектр функции GDOP с дискретностью 1 с; $\bar{S}$ – амплитудный спектр функции GDOP с дискретностью 120 с.

Потери измерительной информации по отношению к полному объему в зависимости от интервала между измерениями для полной и реальной орбитальных группировок, %

Группировка	Среднее значение GDOP	Интервал измерений, с			
		30	60	120	300
Полная	0,94	17	25	32	55
Реальная	4,03	27	34	43	77

Отметим, что при исследовании свойств геометрического коэффициента в работе рассматриваются два варианта. Первый предусматривает использование полной орбитальной группировки НКА ГЛОНАСС. Второй подразумевает использование реальной (сокращенной из-за ряда технических и экономических причин) группировки НКА.

Результаты исследований показали (см. таблицу), что оптимальным является использование всей доступной измерительной информации с интервалом между измерениями 120 с. При сокращенном рабочем созвездии для максимального учета геометрии интервал необходимо уменьшить до 30 с. Дальнейшее уменьшение интервала становится нецелесообразным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Болдин В.А.* Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. М.: ИПРЖР, 1998.

2. *Шебшаевич В.С.* Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь, 1982.

3. *Шебшаевич В.С.* Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С.Шебшаевич, П.П.Дмитриев, Н.В.Иванцевич и др. М.: Радио и связь, 1993.

4. *Hofmann-Wellenhof B.* Global Positioning System. Theory and Practice / B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, J.Collins. Second edition. Springer-Verlag. Wien – New-York. 1993.