Ю. П. Шумилов, П. А. Бакут (Москва, ИПИР). **Анализ требований к параметрам лазерных локационных сигналов при определении характеристик космических объектов.**

При наблюдении космических объектов (КО) необходимо определять их некоординатные характеристики, в том числе, по измеренным координатным; в частности, баллистический коэффициент. Эта характеристика является очень информативной, если она определена и определена с высокой точностью. Оперативность ее определения диктует разработку алгоритма измерения коэффициента по единичным координатным, некоординатным и временным замерам характеристик параметров, входящих в формулу для баллистического коэффициента, и, что самое главное, высокие требования к точности этих замеров. Рассмотрим эти требования. Можно показать [1], что $\beta = \rho^{-1}(1/V_1 - 1/V_2)/T_{12}$, где β — баллистический коэффициент, ρ — плотность атмосферы на высоте h, V_1 и V_2 — скорости КО, которые измеряются через период T_{12}, соответственно, в моменты времени t_1 и t_2, $T_{12} = t_2 - t_1$. Соответствующие ошибки измерения: σ_ρ — плотности, σ_V — скорости, $\sigma_{T_{12}}$ — периода обращения КО T_{12}. Необходимо вычислить σ_β по серии единичных координатных замеров и по полученным результатам сформулировать требования к точностным характеристикам измеряемых параметров, необходимых для определения β.

Сделаем предварительные расчеты. Рассмотрим для простоты круговую орбиту с высотой $h = 250$ км, тогда

$$V_1 = \sqrt{\frac{\mu}{a}} = \sqrt{\frac{3,97\,10^{14}\ \text{м}^3/\text{сек}^2}{(6,378+0,25)\,10^6\ \text{м}}} = 7739,34\ \text{м/сек},$$

плотность ρ на $h = 250$ км будет равна $1,023\,10^{-10}$ кг/м^3 [2], период обращения КО $T_{12} = 2\pi a\sqrt{a/\mu} = 53,8066\,10^2$ сек, на высоте $h = 249,9$ км $V_2 = 7739,40$ м/сек, изменение $\Delta V = 0,06$ м/сек и $1/V_1 - 1/V_2 = 10^{-9}$ сек/м, тогда $\beta = 1,804\,10^{-3}$ м^2/кг. Положим $\sigma_{V_1} = \sigma_{V_2} = 0,0018$ м/сек, σ^2_ρ на высоте h формируется в соответствии с ГОСТом [3], $\sigma_\rho = 5\,10^{-12}$ кг/м^3, $\sigma^2_{T_{12}} \approx 10^{-5}$ сек. Проведя оценку общего выражения для σ_β, можно показать, что с учетом значимых членов оно примет вид:

$$\begin{aligned}\sigma^2_\beta &= (\rho^2T^2_{12}V^4_1)^{-1}\sigma^2_{V_1}(\rho^2T^2_{12}V^4_2)^{-1}\sigma^2_{V_2}\\ &\quad - 2(\rho^2T^2_{12}V^4_1V^4_2)^{-1}\sigma_{V_1}\sigma_{V_2} + (T^2_{12}\rho^4)^{-1}(1/V_1 - 1/V_2)^2\sigma^2_\rho,\end{aligned}$$

где $\sigma^2_V = \sigma^2_0/(nT^2_2)$ — дисперсия измерения скорости в геоцентрической системе координат (так как орбита круговая, то для расчетов важны V_{1y}, V_{2y}, σ_{1y}, σ_{2y}; полагаем также $\sigma_{1y} = \sigma_{2y} = \sigma_y$), σ^2_0 — дисперсия измерения координаты в единичном замере, n — количество единичных замеров, $T^2_2 = n^{-1}\sum_{i=0}^n(t_i - \bar t)^2$, $\bar t = t_0 + T/2$ — середина интервала наблюдения T, в котором формируются единичные замеры и дается оценка V_i, t_0 — начало интервала наблюдения. При равномерном распределении моментов наблюдения имеем для T_2: $T^2_2 \approx (2/T)\int_0^{T/2} t^2\,dt \approx 0,29\,T$. Проведя расчеты для приведенных выше параметров, получим $\sigma_\beta = 2,58\,10^{-4}$ м^2/кг. Из анализа расчетов видно, что основную роль играют члены со скоростями и плотностью и, если точность по измерению скорости достижима и предсказуема, то достижение требуемой точности по измерению плотности является более сложной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шумилов Ю.П.* Оценка эффективности оптимального алгоритма обработки прецизионных измерений баллистического коэффициента космических объектов. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2006, т. 13, в. 2, с. 371–372.
2. *Эльясберг П. Е.* Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1965, 540 с.

3. ГОСТ Р25645.166–2004. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли. М.: ИПК, Изд-во стандартов, 2004, 24 с.