

### III. Определение времени падения КА “Tiangong-1” 30 ноября 2017

А.И. Назаренко, д.т.н., профессор, пенсионер

Изложенные ниже материалы являются продолжением размещенных на сайте текстов под тем же названием за 1 и 15 ноября 2017 г [1, 2].

#### Результаты за 30 ноября 2017 г.

Для 60-ти предшествующих моментов времени привязки измерений было выполнено уточнение параметров орбиты КА по массиву исходных измерений, в качестве которых использовались известные TLE [3]. Ниже представлены результаты последнего по времени уточнения (НУ 3). Здесь координаты (км) и скорости (км/сек) – в геоцентрической инерциальной системе координат (как в TLE).

21883.142059- модифицированная Юлианская дата =30 ноября 03<sup>h</sup> 24<sup>m</sup> 33.90<sup>s</sup>  
-1733.340945 - x  
-6454.494227 - y  
0.290966 - z  
5.4733719927 - V<sub>x</sub>  
-1.4667588867 - V<sub>y</sub>  
5.2427175854 - V<sub>z</sub>  
0.00341 - S<sub>b</sub> (баллистический коэффициент, м<sup>2</sup>/кг).

На рисунке 1 представлены оценки баллистического коэффициента, значения индекса геомагнитной возмущенности (K<sub>p</sub>) и минимизируемого критерия для всех предшествующих моментов времени уточнения параметров орбиты.

На интервале времени после 19 ноября оценки баллистического коэффициента (S<sub>b</sub>) менялись в пределах от 0.00326 до 0.00424 м<sup>2</sup>/кг, т.е. в 1.3 раза. Эти оценки играют важную роль, так как используются в качестве исходных данных для расчета торможения КА в атмосфере. Существенные вариации торможения наблюдались в интервале времени с 22 по 24 ноября. Черной линией отмечены усредненные оценки S<sub>b</sub> на некотором предшествующем интервале времени (скользящее среднее). Они используются при формировании исходных данных для прогноза.

Значения приведенного на рисунке минимизируемого критерия имеют смысл усредненного на мерном интервале отношения остаточных невязок к расчетной среднеквадратической погрешности. Эти значения зависят от величины текущих остаточных невязок и меняются в интервале от 0.31 до 2.14. При идеальной настройке параметров алгоритма их среднее значение должно быть близко к 1.

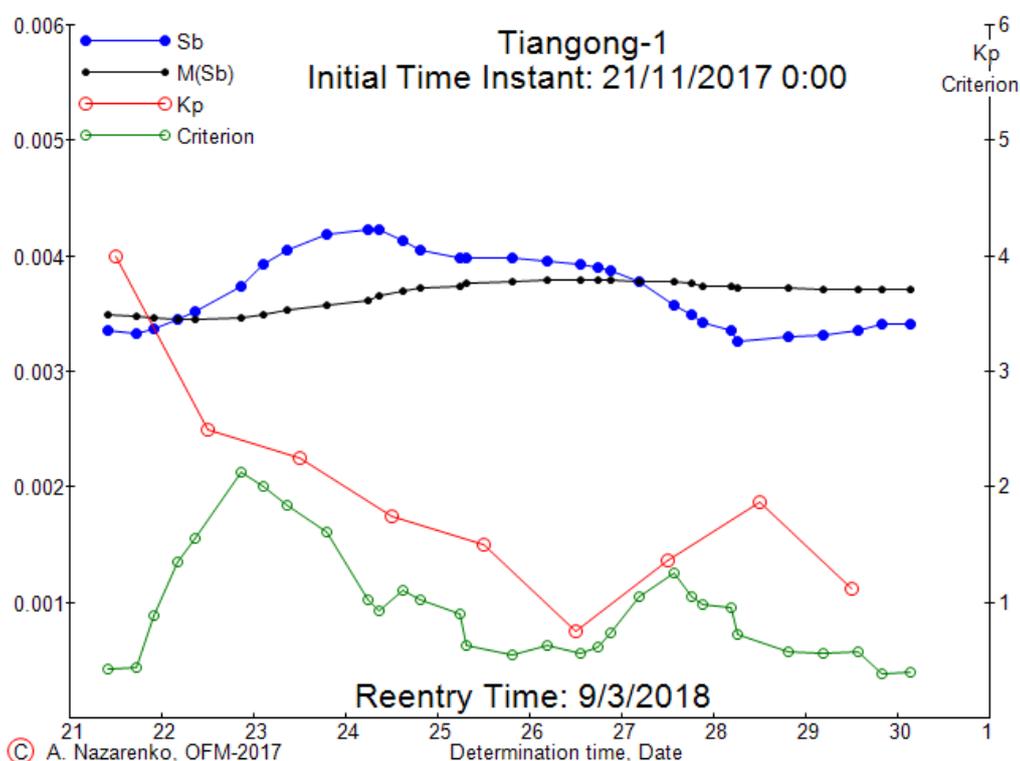


Рисунок 1. Оценки  $S_b$ , значения  $K_p$  и минимизируемого критерия

Из сравнения оценок  $S_b$  с индексами геомагнитной возмущенности видно, что упомянутые выше значительные вариации торможения являются следствием геомагнитной бури 21 ноября, которая привела к дополнительному разогреву атмосферы и соответствующему увеличению ее плотности. Последняя сглаженная оценка баллистического коэффициента ( $0.00372 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) использовалась в качестве постоянного значения при прогнозе движения КА до момента его входа в плотные слои атмосферы.

Важное значение для контроля качества уточнения параметров орбиты имеют оценки минимизируемого критерия (квадратичной формы). Из данных рисунка видно, что максимального значения они достигают в моменты времени, когда происходят существенные изменения оценок баллистического коэффициента, т.е. в моменты существенных непредсказуемых изменений плотности атмосферы. В эти моменты времени ухудшается согласованность измерений с расчетной моделью движения, что приводит к росту невязок. Усредненное по данным рисунка значение критерия равно 1.02, т.е. практически совпадает с идеальным значением.

Соответствующие результаты прогноза при упомянутых выше начальных условиях (НУ 3) представлены на рисунке 2.

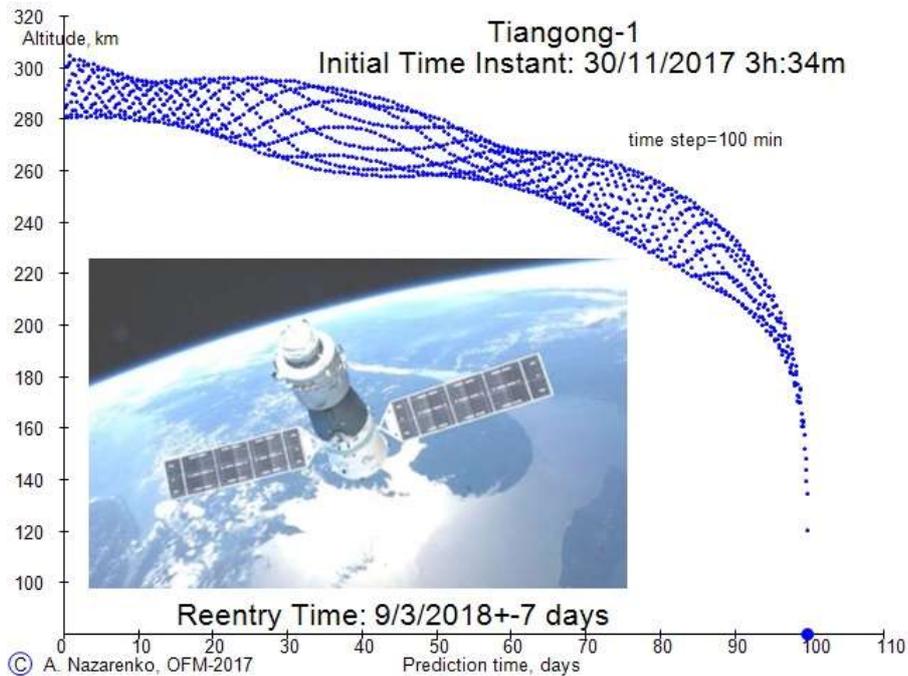


Рисунок 2. Изменение высоты на интервале прогноза

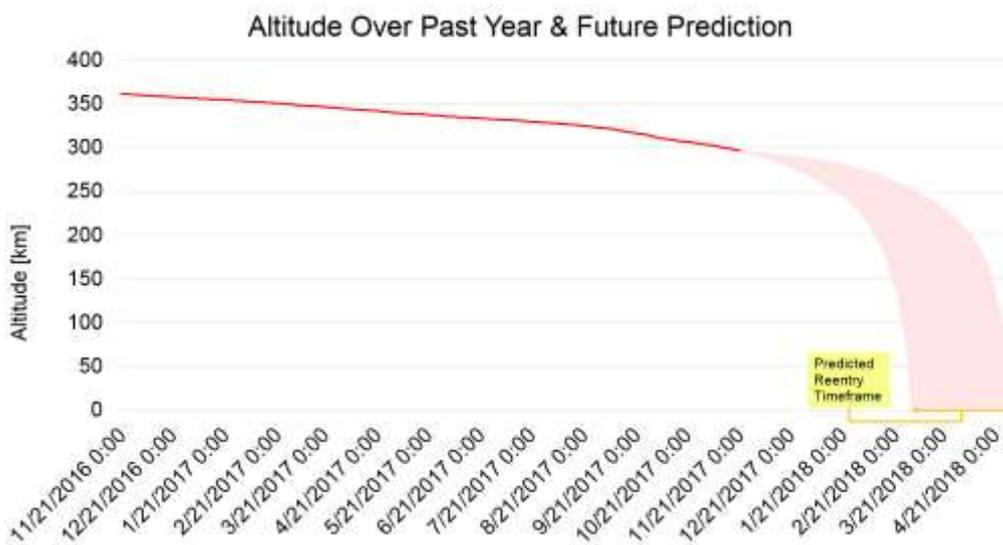
При построении этого точечного графика использовались оценки высоты с шагом 100 минут. Именно поэтому график имеет своеобразный вид.

Результат прогноза.

**Ожидаемое время входа в плотные слои атмосферы 9 марта 2018 г  $\pm 7$  дней.**

### Последние публикации

This prediction was performed by The Aerospace Corporation on 2017 November 21



**Tiangong-1 is predicted to reenter in Март 21 2018  $\pm 1$  month.**

## **Литература**

1. А.И. Назаренко. Определение времени падения КА “Tiangong-1”, 1 ноября 2017
2. А.И. Назаренко. Определение времени падения КА “Tiangong-1”, 15 ноября 2017
3. <http://www.space-track.org>