

V. Определение времени падения КА “Tiangong-1”

20 декабря 2017

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

Изложенные ниже материалы являются продолжением размещенных на сайте текстов под тем же названием за 1, 15 ноября, 1 и 10 декабря 2017 г [1, 2, 3, 4].

Результаты за 20 декабря 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 [5]. Ниже представлены результаты последнего по времени уточнения (НУ 5). Здесь координаты (км) и скорости (км/сек) – в геоцентрической инерциальной системе координат (как в TLE).

21902.811403- модифицированная Юлианская дата=19 декабря 19^h 28^m 25.22^s
-4427.350495 - x
4966.047268 - y
0.729638 - z
-4.2476259209 - V_x
-3.7853358208 - V_y
5.2636702672 - V_z
0.00413 - S_b (баллистический коэффициент, м²/кг).

На рисунке 1 представлены оценки баллистического коэффициента, значения индекса геомагнитной возмущенности (K_p) и минимизируемого критерия для всех предшествующих моментов времени уточнения параметров орбиты после 10 декабря.

Оценки баллистического коэффициента (S_b) менялись в пределах от 0.00289 до 0.00413 м²/кг, т.е. в 1.4 раза. Эти оценки играют важную роль, так как используются в качестве исходных данных для расчета торможения КА в атмосфере. Существенные вариации торможения наблюдались в интервалах времени 10-11 декабря (уменьшение) и 18-19 декабря (увеличение). Черной линией отмечены усредненные оценки S_b 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 0.23 до 1.83. При идеальной настройке параметров алгоритма их среднее значение должно быть близко к 1.

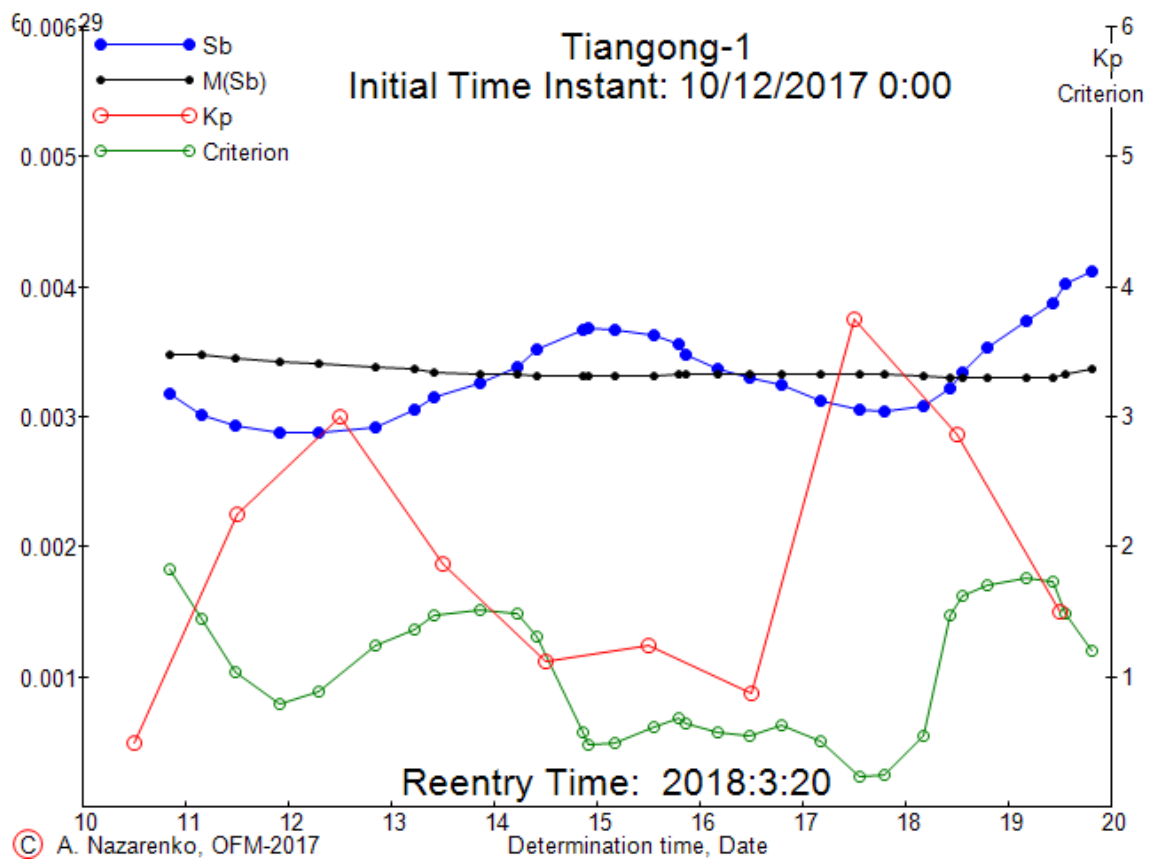


Рисунок 1. Оценки Sb, значения Kp и минимизируемого критерия

Из сравнения оценок Sb с индексами геомагнитной возмущенности видно, что упомянутые выше вариации торможения являются следствием экстремальных значений геомагнитной активности 10 декабря и 17-18 декабря, что привело к соответствующему изменению плотности атмосферы. Последняя сглаженная оценка баллистического коэффициента ($0.00337 \text{ m}^2/\text{kg}$) использовалась в качестве постоянного значения при прогнозе движения КА до момента его входа в плотные слои атмосферы. Особенностью сглаженных оценок Sb является их стабильность – на рассмотренном интервале времени отклонения от среднего не превысили $\pm 3\%$.

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 1.07, что хорошо согласуется с идеальным значением (1.0).

Соответствующие результаты прогноза при упомянутых выше начальных условиях (НУ 5) представлены на рисунке 2.

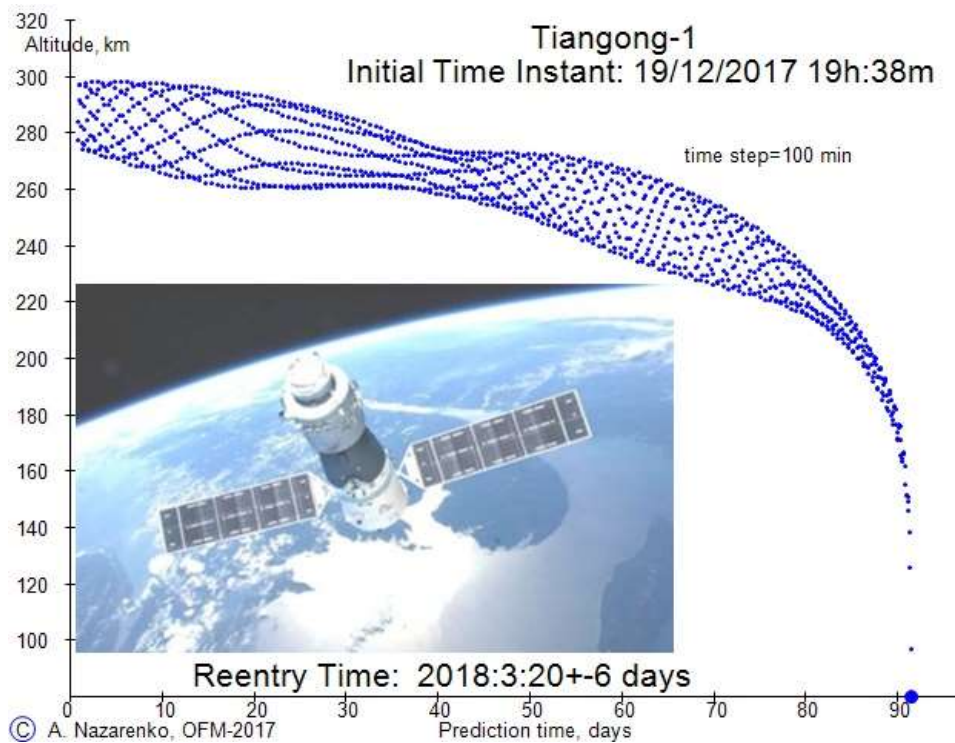


Рисунок 2. Изменение высоты на интервале прогноза

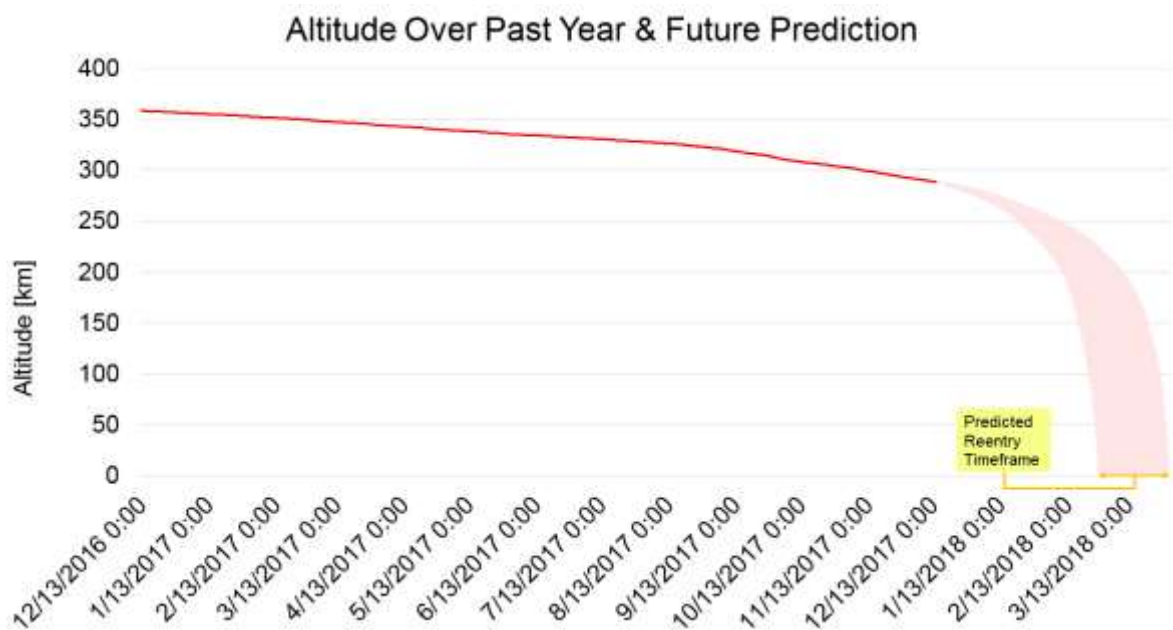
При построении этого точечного графика использовались оценки высоты с шагом 100 минут. Именно поэтому график имеет своеобразный вид.

Результат прогноза.

Ожидаемое время входа в плотные слои атмосферы 20 марта 2018 г ±6 дней.

Последние публикации

a) Tiangong-1 Altitude Prediction. This prediction was performed by The Aerospace Corporation on 2017 December 14.



Tiangong-1 is predicted to reenter in mid-March 2018 ± 3 weeks.

б) Данные В.С. Юрасова (частное сообщение)

Результаты обработки TLE на предшествующем недельном интервале и прогноза движения КА до момента падения:

Время начальных условий	Результат	Модель атмосферы		
		ГОСТ 1984	NRLMSIS	ГОСТ 2004
9 ноября 2017	t reentry	10 марта 02ч	9 марта 06ч	7 марта 00ч
	Sb, m ² /kg	0.00384	0.00386	0.00368
1 декабря 2017	t reentry	12 марта 03ч	9 марта 18ч	11 марта 22ч
	Sb, m ² /kg	0.00361	0.00389	0.00360
9 декабря 2017	t reentry	14 марта 00ч	16 марта 12ч	18 марта 06ч
	Sb, m ² /kg	0.00367	0.00373	0.00347
19 декабря 2017	t reentry	19 марта 14ч	21 марта 03ч	17 марта 14ч
	Sb, m ² /kg	0.00349	0.00361	0.00359

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. А.И. Назаренко. Определение времени падения КА "Tiangong-1", 1 декабря 2017
4. А.И. Назаренко. Определение времени падения КА "Tiangong-1", 10 декабря 2017
5. <http://www.space-track.org>