

А. В. ДИДЕНКО, А. А. КОМАРОВ, М. В. НИФОНТОВА, Л. А. УСОЛЫЦЕВА

(ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова», АО НЦ КИТ, г. Алматы)

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ «TRANSTAGE»

Аннотация. Проведен анализ результатов астрометрических и фотоэлектрических, наблюдений выполненных наземными станциями РК 1992–2012 гг. для разгонных блоков «Transtage». На примерах конкретных ГСС показано, что интегральные оптические характеристики разрушившихся объектов отличаются от аналогичных величин неразрушенных аппаратов данного типа. Выполненные исследования доказывают эффективность использования наземной информации при оценке состояния КА на орбите.

Ключевые слова: геостационарная орбита, космический мусор, наземные наблюдения ГСС.

Тірек сөздер: геостационарлық орбита, ғарыш қоқысы, ГСС жерден бақтау.

Keywords: geostationary orbit, space debris, ground observations of GSS.

Известно, что существенным источником засорения околоземных орбит, в том числе и геостационарных (ГСО), являются взрывы находящихся там космических аппаратов, [1–3]. В настоящее время достаточно надежно установлено существование 14 взорвавшихся геостационаров, из них 2 аппарата типа «Экран» и 12 американских разгонных блоков (РБ) типа «Transtage» [4,5]. Из 31 «Transtage», использовавшихся для запуска, 16 считаются потерянными, поэтому возможно, что число взрывов этих РБ больше 14.

Анализ оптической информации для аппаратов типа «Экран», полученной наземными пунктами наблюдений РК, проведен в нашей работе, публикуемой в данном сборнике. Здесь мы остановимся на результатах аналогичных исследований по РБ «Transtage». Сопровождению этих объектов было уделено особое внимание, т.к. их оптические характеристики существенно отличаются от ГСС других типов, эволюция элементов орбит также имеет свои особенности. «Transtage» использовались в основном для вывода ГСС типа DSP и DSCS до конца 80-х годов. Внешний вид РБ показан на рисунке 1, [6].

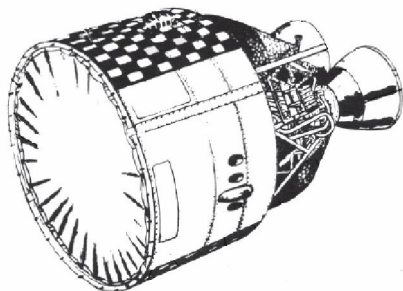


Рис.1 – Внешний вид разгонного блока «Transtage», [6]

В таблице 1 приведен список наблюдавшихся у нас РБ «Transtage», указаны их международные номера, дата начала орбитальных наблюдений, интервал фотометрических наблюдений. В последнем столбце:

– тип объекта на момент наблюдений: (L – либрационный, D – дрейфующий) и следующие величины, определенные на последнюю дату наблюдений:

– Dm – максимальный дрейф (град/сут), т.е. дрейф при прохождении долготы 75° , для либрационных – без знака, для дрейфующих – со своим знаком;

– P – период изменения долготы (в сутках), (для либрационных – период либрации);

– D – вероятная дата разрушения согласно [2].

Таблица 1 – Список разгонных блоков «Transtage», наблюдавшихся наземными пунктами наблюдений РК

№	Международный номер	Дата начала орбитальных наблюдений	Интервал фотометрических наблюдений	Тип; Dm (град/сут); P- (сут); D(гггг.мм.дд)
1	66053J	1999.07.09	–	D; 23.738; 15.2; 1983.10.03
2	68050J	1999.07.12	–	D; 19.171; 18.8 ;
3	68081E	1999.10.06	2012.01.22 – 2013.08.04	D; 4.484; 80.5; 1992.02.21
4	69013B	1995.10.21	1999.11.05	D; 0.640; 669.0;
5	71039B	2003.11.25	2003.11.25–2013.04.09	D; 0.647; 658.3;
6	71095C	2000.02.06	–	D; 11.111; 32.0; 1980.06.07
7	72010B	1992.05.27	2004.01.30 – 2004.10.20	D; 1.455; 254.0;
8	73040B	1999.08.19	1999.04.11– 2012.04.23	D; -2.596; 139.8; 1981.03.08
9	73100D	1995.12.20	–	D; -18.980; 19.0; 1992.04.06
10	74039C	2000.10.04	–	D; 1.447; 255.0;
11	75118C	1998.11.15	2002.12.03 – 2014.03.02	D; 0.984; 388.7; 1987.03.13
12	76023F	1999.07.10	–	D; -7.246; 50.0; 1976.10.09
13	76059C	1996.03.21	2003.12.18 – 2011.10.19	D; 1.057; 358.8;
14	77007C	2000.10.04	–	L; 0.303; 873.0; 40.1;
15	77034C	1993.10.11	–	D; -16.967; 21.2;
16	78058B	1999.07.10	2006.08.25	D; -2.352; 154.6;
17	78113D	1997.09.24	2000.09.04	D; -23.464; 15.3; 1997.10.17
18	79053C	2000.09.27	2012.01.02 – 2012.04.24	D; -3.018; 120.0; 1982.11.05
19	79086C	1998.09.05	–	D; -2.153; 169.2;
20	79098C	1999.09.07	–	D; -17.840; 20.0; 1980.02.24
21	81025C	1994.02.08	–	D; 3.832; 94.3;
22	81107C	2000.02.02	2006.09.25	D; -2.459; 147.7;
23	82019B	1994.10.12	2004.11.17 – 2013.04.05	D; 3.562; 101.0; 1984.09.17
24	84009C	1999.10.07	2006.04.22 – 2006.08.31	D; -3.006; 120.5;
25	84037B	2000.10.04	2008.12.02 – 1	D; 3.221; 112.3;
26	84129B	1996.03.20	2003.12.18 – 2003.12.19	D; 3.190; 113.4;
27	87097B	1999.12.07	–	D; 3.485; 104.0;
28	89035C	1999.01.14	2006.09.28	D; -3.051; 118.7;
29	89069D	2000.10.03	2004.01.23	D; 3.506; 103.1;

Наземные координатные и фотометрические (в системе BVR) наблюдения проводились на телескопах АЗТ-8 (Каменское плато, г. Алматы), Цейс–1000 (вблизи г. Алматы) и на АЗТ-28 (г. Приозерск, полигон Сары–Шаган). Методика получения и интерпретации координатной и фотометрической информации достаточно детально описаны в наших предшествующих работах, см. напр. [7,8]. Для каждого из наблюдавшихся РБ были определены эффективные площади отражения, ориентация, периоды вращения вокруг центра масс и прецессия оси вращения. Эти величины вычислялись на основе фазовых кривых, приведенных к стандартным условиям, т.е. с учетом зависимости от фазового угла φ и склонения Солнца δ_{\odot} . Показатели цвета для всех КА отнесены к $\varphi = 25^{\circ}$. При построении фазовой кривой объектов переменной яркости использовалась величина блеска, средняя за период вращения вокруг центра масс.

В качестве примера приведем результаты определения оптических характеристик неразрушенного РБ Transtage 71039B. Следует подчеркнуть, что у всех неразрушенных объектов данного типа параметры оказались близкими. На рисунке 2 приведена кривая блеска Transtage 71039B, полученная из наблюдений 09.04.2013 г. в фильтре R за период 62,8 сек.

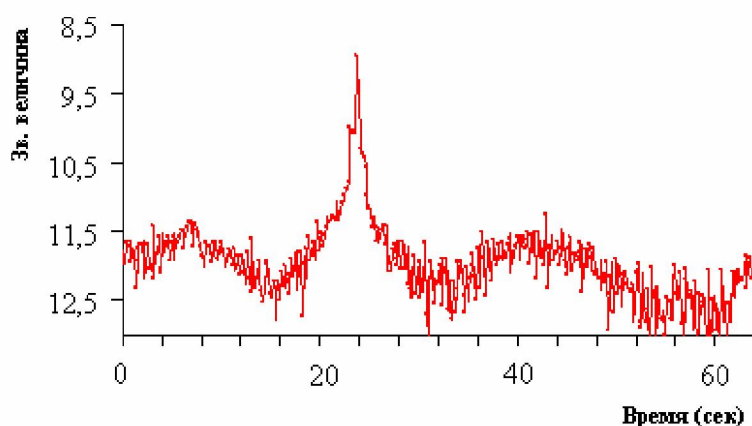


Рисунок 2 – Кривая блеска неразрушенного Transtage-20 (71039B), «свернутая» за период 62,8 сек. Наблюдения 09.04.2013 года, фильтр R, $\varphi = 14^{\circ}50'$

Данную кривую блеска можно интерпретировать последовательным отражением света от боковой грани и торца вращающегося цилиндра. Расчеты показывают, что в диапазоне фазовых углов $-60^{\circ} \div +60^{\circ}$ фазовые коэффициенты $\beta_B = 0,009 \text{ м/гр}$, $\beta_V = 0,008 \text{ м/гр}$, $\beta_R = 0,007 \text{ м/гр}$. Отсюда следует, что для $\varphi = 0^{\circ}$ звездные величины $B = 13^{\text{m}},10$; $V = 12^{\text{m}},38$; $R = 11^{\text{m}},43$. При этом показатели цвета для боковой поверхности цилиндра: $(B - V) = 0^{\text{m}},72$ и $(V - R) = 0^{\text{m}},95$, а для торца $(B - V) = 0^{\text{m}},80$; $(V - R) = 0^{\text{m}},75$. Эффективная площадь отражения для боковой поверхности: $S_{\gamma_B} = 0,156 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_V} = 0,164 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_R} = 0,182 \pm 0,02 \text{ м}^2$, для торца: $S_{\gamma_B} = 0,123 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_V} = 0,210 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_R} = 0,226 \pm 0,02 \text{ м}^2$.

Оптические характеристики разрушенных Transtage индивидуальны, поскольку они связаны со структурой поверхности объектов. В качестве примера приведем результаты анализа координатной и фотометрической информации по Transtage 5 (68081E). ГСС был запущен в 1968 году, в 1992 году произошло его разрушение на орбите.

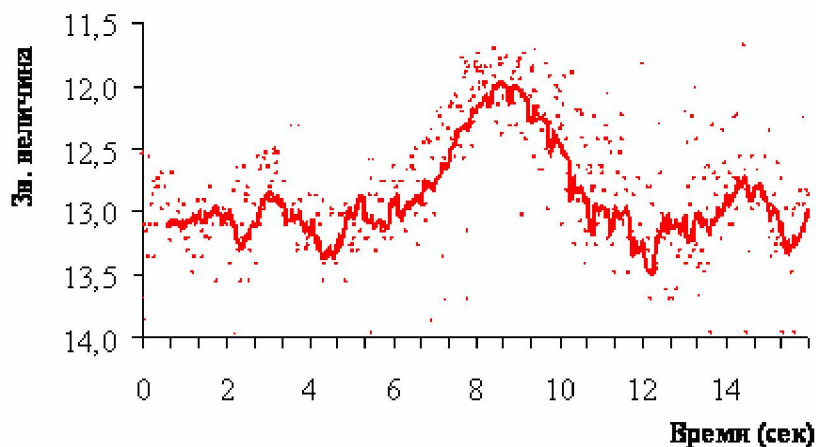


Рисунок 3 – Кривая блеска разрушенного Transtage-5 (68081E), «свернутая» за период 16,4 сек. Наблюдения 22.01.2012 года, фильтр R, $\varphi = 54^{\circ}20'$

В течение периода наблюдений, указанного в Таблице 1, у объекта регистрировались периодические изменения блеска с амплитудой $2^{\text{m}} - 3^{\text{m}}$, максимальная звездная величина составила $11^{\text{m}},2$, минимальная – $16^{\text{m}},0$ (в R- фильтре). В течение двух последовательных ночей были получены ряды наблюдений длительностью от 12 минут до 3 часов. На кривых блеска присутствуют три характерные компоненты, аналогичные тем, что есть у ГСС 71039B: плавное изменение яркости с минимумами и 3 максимумами. Кроме них фиксируются нерегулярные всплески, амплитуда и положение которых внутри периода сильно изменяются с изменением фазового

угла. Такую кривую блеска также можно интерпретировать последовательным отражением солнечного света от боковых граней и торца вращающегося цилиндра. Расчеты показывают, что в диапазоне фазовых углов $-60^\circ \div +60^\circ$ фазовые коэффициенты фактически не меняют своих значений. Это, в свою очередь, позволяет определить звездную величину объекта для $\varphi = 0^\circ$: $V = 13^m,90$; $V = 12^m,98$; $R = 11^m,11$. Но показатели цвета для боковой поверхности цилиндра разрушенного РБ отличаются от аналогичных величин неразрушенного объекта. Для Transtage-5 68081E показатели цвета боковой поверхности: $(B - V) = 1^m,22$ и $(V - R) = 0^m,93$, а для торца $(B - V) = 0^m,76$; $(V - R) = 0^m,75$. Для боковой поверхности $S_{\gamma_B} = 0,186 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_V} = 0,194 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_R} = 0,112 \pm 0,02 \text{ м}^2$, для торца $-S_{\gamma_B} = 0,129 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_V} = 0,201 \pm 0,03 \text{ м}^2$; $S_{\gamma_R} = 0,229 \pm 0,02 \text{ м}^2$.

При вычислении эффективной площади отражения учитывалась ориентация оси вращения объекта относительно центра масс, [7]. Единичный вектор нормали к поверхности, формирующей данные вспышки, на момент наблюдений (22.01.2012 г.), имел координаты: $X_n = -0.4911$; $Y_n = 0.8281$; $Z_n = -0.2705$, что соответствует углам ориентации $X = 119.4^\circ$, $Y = 34.1^\circ$, $Z = 105.7^\circ$, т. е. объект был «повернут» к наблюдателю своей боковой поверхностью, а угол между боковой поверхностью и осью вращения составил 16° . Здесь X_n , Y_n , Z_n – компоненты единичного нормального вектора в экваториальной системе координат (начало – в центре масс объекта, ось X параллельна небесному экватору в направлении точки весеннего равноденствия, ось Y направлена в центр Земли, а ось Z – в полюс мира, параллельно оси вращения Земли). Расчет аналогичных координат на 23.01.2012 г. показал, что положение объекта изменилось: $X = 32.1^\circ$, $Y = 121.6^\circ$, $Z = 94.8^\circ$, что указывает на его кувыркание.

Судя по полученным результатам, взорвавшийся РБ Transtage-5 имеет форму вытянутого тела с отверстием на боковой поверхности. Ось вращения и ось симметрии совпадают и фактически параллельна оси вращения Земли с углом прецессии, близким к 5° . Анализ фотометрических результатов других разрушившихся объектов показывает, что, как правило, в той или иной степени разрушения связаны с повреждением боковых поверхностей РБ.

Проведенные исследования доказывают эффективность использования наземной информации при оценке состояния КА на орбите.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Gunter's Space Page <http://www.skyrocket.de/space>.
- 2 Pensa A.F., Powell G.E., Pork E.W., Sridharan R. Debris in Geosynchronous orbits // Space Forum/ – 1996. – V. 1/ – No 1-4. – ISSN 1024-803X. – P. 23-37.
- 3 Johnson N.L. Evidence for historical satellite fragmentations in and near the geosynchronous regime // Proc. Third European Conf. on Space Debris, ESOC, Darmstadt, Germany, 19-21 March 2001 / Ed. H. Sawaya-Lacoste. – 2001. – V. 1. – P. 355-359.
- 4 Киладзе Р.И., Социлина А.С. Теория движения геостационарных спутников // С.Петербург. – 2008. – С.132.
- 5 Вершков А.Н., Григорьев К.В., Киладзе Р.И., Социлина А.С. Модель засорения окрестности геостационарной орбиты фрагментами взорвавшихся спутников // Ракетотехника и астронавтика. – 2000. – № 18. – С.50-62.
- 6 Cowardin H., Seitzer P., Abercromby K. etc. Observations of Titan III C Transtage fragmentation debris. Paper ID 4112612. Abstract Export Control #: 28546.
- 7 Диденко А.В. О стандартизации блеска искусственных небесных тел // Труды АФИ АН КазССР. – 1984. – Т. 44. – С. 77-83.
- 8 Диденко А.В., Усольцева Л.А. Об определении периодов вращения геостационарного спутника (ГСС) вокруг центра масс // Известия НАН РК. Сер. «физ-мат.». – 2007. – № 4. – С.90-93.

REFERENCES

- 1 Gunter's Space Page <http://www.skyrocket.de/space>.
- 2 Pensa A.F., Powell G.E., Pork E.W., Sridharan R. Debris in Geosynchronous orbits // Space Forum. – 1996. – V. 1/ – No 1-4. – ISSN 1024-803X. – P.23-37.
- 3 Johnson N.L. Evidence for historical satellite fragmentations in and near the geosynchronous regime // Proc. Third European Conf. on Space Debris, ESOC, Darmstadt, Germany, 19-21 March 2001 / Ed. H. Sawaya-Lacoste. – 2001. – V. 1. – P.355-359.
- 4 Kiladze R.I., Sochilina A.S. Teoria dvizheniya geostatsionarnyx sputnikov. S. Peterburg: – 2008. – С.132. (in Russ).
- 5 Vershkov A.N., Grigorjev K.V., Kiladze R.I., Sochilina A.S. Model zasorenija okrestnosti geostatsionarnoj orbiti fragmentami vzorvavshihhsja sputnikov // Raketotekhnika i astronavtika. – 2000. – № 18. – С.50-62. (in Russ).
- 6 Cowardin H., Seitzer P., Abercromby K. etc. Observations of Titan III C Transtage fragmentation debris. Paper ID 4112612. Abstract Export Control #: 28546.

7 Didenko A.V. *O standartizatsii bleska iskusstvennyh nebesnyh tel* // Trudy AFI AN KazSSR. – 1984. – Т. 44. – С. 77-83. (in Russ).

8 Didenko A.V., Usoltseva L.A. *Ob opredelenii periodov vrasheniia geostatsionarnogo sputnika (GSS) vokrug tsentra mass.* Izvestia NAN RK. Ser. «fiz-mat.». – № 4. 2007. – С.90-93. (in Russ).

Резюме

А. В. Диденко, А. А. Комаров, М. В. Нифонтова, Л. А. Усольцева

(ДТОО «Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова», АО НЦ КИТ, г. Алматы)

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ «TRANSTAGE»

Проведен анализ результатов астрометрических и фотоэлектрических, наблюдений выполненных наземными станциями РК 1992–2012 гг. для разгонных блоков «Transtage». На примерах конкретных ГСС показано, что интегральные оптические характеристики разрушившихся объектов отличаются от аналогичных величин неразрушенных аппаратов данного типа. Выполненные исследования доказывают эффективность использования наземной информации при оценке состояния КА на орбите.

Резюме

А. В. Диденко, А. А. Комаров, М. В. Нифонтова, Л. А. Усольцева

(В.Г.Фесенков ағындағы Астрофизикалық институты, Алматы)

«TRANSTAGE» ЖЕЛІСТІ БЛОГЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

1992–2012 жж. ҚР жерүсті станцияларымен «Transtage» желісті блогы үшін орындалған астрометрикалық және фотоэлектрлік бақылауларға талдау жүргізілген. Қираған нысандардың интегралды оптикалық сипаттамалары аталмыш аппараттың бұзылмаған түрінің ұқсас шамасынан айырмашылығы бар екені нақты ГСС мысалында көрсетілген. Жүргізілген зерттеулер орбитадағы ҒА жай-күйін бағалауда жерүсті ақпараттарын қолданудың тиімділігін дәлелдейді.

Тірек сөздер: геостационарлық орбита, ғарыш қоқысы, ГСС жерден бақылау.

Summary

A.V. Didenko, A. A. Komarov, M. V. Nifontova, L. A. Usoltseva

(V.G. Fessenkov Astrophysical institute «NCSRT» NSA RK, Almaty)

OPTICAL CHARACTERISTICS OF «TRANSTAGE» [UPPER STAGES](#)

We have analyzed the results of the coordinate and photometric observations made by ground stations of Kazakhstan for upper stages of boosters «Trastage» in 1992–2012. For the examples of specific GSS it was shown that the integral optical characteristics of break-up objects differ from similar for intact objects of that type. That investigations demonstrate the effectiveness of ground information for evaluation of the spacecraft status in the orbits.

Поступила 2014 г.