

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ВОЗМУЩЕНИЙ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА СОБСТВЕННОЕ ВРАЩЕНИЕ ИСЗ

Епишев В. П., Игнатович С. И., Исак И. И., Найбауэр И. Ф.

*Лаборатория космических исследований УжНУ, Ужгород*

Анализ длительных наблюдений за разными по массе и размерам неуправляемыми ИСЗ показывает, что эти объекты могут быть индикаторами физических процессов в околоземном космическом пространстве. Их собственное вращение чувствительно к малейшим проявлениям возмущений со стороны Солнца, Луны, атмосферы и магнитного поля нашей планеты. Известно, что кинетическая энергия собственного вращения небесного тела намного меньше энергии его орбитального движения. Поэтому при исследовании собственного вращения космического тела удастся обнаружить действие на объект значительно меньших возмущений, чем при изучении изменения элементов его орбиты.

Эффективными в этом плане стали позиционные и фотометрические наблюдения ИСЗ, позволяющие отследить и динамику собственного вращения объекта, и изменение его ориентации. Разработка соответствующих методик обработки позволила нам использовать результаты наблюдений для исследования природы возмущающих сил в околоземном космическом пространстве, влияния этих сил на вращение ИСЗ.

Нами проанализированы изменения скорости вращения и ориентации семи неуправляемых ИСЗ на длительных интервалах наблюдений. Обработано 556 прохождений разных ИСЗ, в том числе: “Мидас-3” — 7 прохождений, “Мидас-4” — 71 прохождение, “Мидас-7” — 90 прохождений, “Метеор-2” — 56 прохождений, “Космос-626” — 86 прохождений, “Космос-651” — 102 прохождения, “Космос-654” — 144 прохождения.

Параметры их орбитального и собственного вращения представлены в таб. 1.

Вращение последних четырех объектов прослежено с момента их дестабилизации до наступления режима “кувыркания”. Установлено, что при достижении значения угла между осью вращения и продольной осью объекта 52–56 градусов, исследуемые объекты на орбите как бы опрокидывались.

На рис. 1–6 представлены характерные кривые блеска для шести упомянутых выше объектов (а) и рядом изменение периода их собственного вращения на протяжении многих лет (б).

На основании полученных данных для ИСЗ серии «Космос» и «Метеор-2» нами определен декремент затухания  $\gamma$  кинетического момента, то есть изменение угловой скорости собственного вращения ИСЗ вследствие взаимодействия объектов с окружающей средой.

$$\gamma = \Delta \omega / \Delta T \text{ (с/сут) .} \quad (1)$$

Его значение изменялось со временем для всех наблюдаемых спутников.

В таб. 2 приведена величина параметра  $\gamma$  на различные этапы наблюдений, начиная с момента торможения вращения ИСЗ.

Полученные результаты подтверждают, что определяющим возмущением во всех четырех случаях есть суммарное воздействие на вращение данных ИСЗ магнитного и аэродинамического моментов.

Большее значение величины  $\gamma$  у спутника «Метеор-2» обусловлено, на наш взгляд, величиной панелей солнечных батарей и отличным от других объектов их размещением, что привело к усилению аэродинамического момента. Эти результаты совпадают с данными по спутниках «Космос-196», 3-й ИСЗ, «Ариабата», «Бросхара», исследованных в свое время в КБ «Южное» [1].

В случае наблюдений ИСЗ серии «Мидас» (объекты массивные, сложной формы, с постоянно изменяющейся ориентацией, высота полета 3450–3780 км) обнаружена корреляция между их собственным вращением и солнечной активностью (радиоизлучение Солнца на длине волны 10.7 см). Фрагменты корреляции для объекта «Мидас- 4» показаны на рис. 7.

По разработанной в УжНУ методике определены значения возмущающего момента, действующего на вращение спутников «Мидас», порожденного солнечным и земным излучением.

Исходя из того, что поверхность исследуемого объекта достаточно сложная, (рис. 8, 9) и действие возмущений на спутник проявлялось с двух направлений, решение задачи на первом этапе проводилось фрагментарно, то есть действие возмущений определялось для каждого фрагмента поверхности отдельно, а на втором этапе суммировалось по всей поверхности. Первым направлением действия возмущений в нашей задаче считалось влияние возмущений прямого излучения Солнца. Вторым — солнечное излучение, отраженное поверхностью Земли в сторону спутника ( $\Phi_d$ ), и непосредственно земное тепловое излучение ( $\Phi_3$ ). Исходя из факта ориентации спутника (рис.8), то есть из того, что он конусообразным торцом направлен в подспутниковую точку, влиянием земного излучения на корпус ИСЗ мы пренебрегли, как очень незначительным, и рассматривали только его влияние на солнечные батареи. Алгоритмы, использованные в расчетах:

$$S_{\text{эф}} = F_1 S_1 + F_2 S_2 + F_3 S_3, \quad (2)$$

$$F_1 = \pi^{-1}[\sin f + (\pi - f)\cos f]\sin \varepsilon_1 \sin \theta_1, \quad (3)$$

$$F_2 = \cos \theta_1 \cos \theta_2, \quad (4)$$

$$F_3 = \cos \vartheta \cos \theta_2(\Phi_3 + \Phi_d), \quad (5)$$

$$Q = A_0 S_{\text{эф}} / \text{cm}, \quad (6)$$

где  $F_1$  — фазовая функция, определяющая долю солнечного света, рассеянного корпусом спутника;  $F_2$  — часть света, рассеянного панелями солнечных батарей;  $F_3$  — часть

излучения от поверхности Земли, рассеянного панелями ИСЗ;  $S_1$  — площадь эффективного сечения корпуса спутника;  $S_2$  — площадь панели солнечных батарей;  $A_0$  — солнечная постоянная ( $1.388 \cdot 10^6$  эрг/с  $\text{см}^2$ );  $c$  — скорость света ( $2.997925 \cdot 10^{10}$  см/с);  $m$  — масса спутника;  $f$  — фазовый угол;  $\varepsilon_1, \theta_1$  — соответствующие углы падения и отражения солнечного света по отношению к продольной оси корпуса спутника;  $\varepsilon_2, \theta_2$  — соответствующие углы падения и отражения солнечного света относительно нормали, направленной к поверхности панели солнечной батареи спутника;  $\vartheta$  — угол падения излучения от поверхности Земли относительно той же нормали к панели солнечной батареи спутника. Значения этих углов на момент наблюдений рассчитывались по результатам наблюдений. Полученные значения величины орбитального ускорения  $Q$  использовались для определения значения возмущающего момента, влияющего на вращение данного ИСЗ:

$$M = Qmr, \quad (7)$$

где  $r$  — плечо приложенной силы.

Результаты представлены в таб. 3.

Полученные значения возмущений сравнивались с изменениями величины кинетического момента ИСЗ, определенного для данного интервала наблюдений. Поскольку все необходимые данные солнечной активности в справочной литературе являются усредненными за сутки, то изменение кинетического момента рассматривалось нами также на интервале в сутки

$$M_L = dL/dt, \quad (8)$$

где  $L$  — кинетический момент:

$$L = I\omega. \quad (9)$$

Здесь  $I$  — момент инерции, равный для цилиндрического тела  $0.5mR^2$ ;  $\omega$  — угловая скорость собственного вращения ИСЗ.

В нашем случае учтен процентный вклад массы панелей солнечных батарей по отношению к массе корпуса спутника, что изменило значение константы 0.5 при определении  $I$  до величины 0.513. Угловая скорость собственного вращения рассчитывалась по формуле

$$\omega = 2\pi/P. \quad (10)$$

Используя данные об ориентации ИСЗ, были рассчитаны значения гироскопического момента

$$K = L\omega_{\text{пр}} \sin\beta, \quad (11)$$

где  $\omega_{\text{пр}}$  — угловая скорость прецессии,  $\beta$  — угол между осью вращения и направлением приложенной силы, значение которого в течение наблюдений находилось в пределах 4.5–5.0 градуса.

Исходя из представленных данных, изменение величины возмущающего момента, действующего на спутник на протяжении суток, будет  $M_L$ . С другой стороны, изменение возмущений на этом интервале, вызванное солнечным и земным излучением, по модулю равно  $\Delta M = |M_1 - M_2|$ .

Как видно из полученных данных (табл.3, колонка 8, 9), основные возмущения в собственном вращении ИСЗ «Мидас-3, 4, 7» действительно порождены излучением со стороны Солнца, а также от поверхности Земли. Их значения по порядку величины совпадают с теоретическими для такого типа возмущений. Суммарный вклад излучения от земной поверхности, являющейся составной возмущающего момента, достигал порядка 18 % от величины солнечного излучения [2].

1. Космическая стрела. Под ред. Обухова А. Н., Ковтуненко Н. М., –М.: Наука, 1974, 326 С.
2. Бас В.П. Негравитационные возмущения ИСЗ “Эталон” // Наблюдения ИНТ, М., Астрономический совет АН СССР, №86, 1990, с. 81–92.

Таблица 1. Величина изменения периода собственного ( $\Delta P_{\text{об}}$ ) и прецессионного ( $\Delta P_{\text{пр}}$ ) вращения исследуемых ИСЗ

№ п/п	ИСЗ	$h_a$ , км	$h_n$ , км	$\Delta T$ , дата, месяц, год	$P_{\text{орб.}}$ , Мин.	$\Delta P_{\text{вр.}}$ , с	$\Delta P_{\text{пр.}}$ , с
1	“Мидас-3”	3534	3358	17.11.81– 1.06.82	161.3	96.0–98.0	288.0–294.0
1	“Мидас-4”	3756	3496	1.07.73–6.11.84	165.0	105.2– 135.2	315.6–405.6
2	“Мидас-7”	3727	3670	24.07.78– 3.09.84	167.8	115.8– 138.0	405.3–483.0
3	“Метеор-2”	906	863	7.03.78–7.08.86	102.0	7.0–160.0	71.0–1616.0
4	“Космос-626”	990	910	23.03.76– 1.10.82	102.8	15.5–68.8	350.3– 1554.9
5	“Космос-651”	1032	938	4.02.76– 27.07.83	103.0	12.2–56.0	272.1– 1248.8
6	“Космос-654”	1040	930	23.03.76– 8.08.86	103.0	12.7– 104.0	274.3– 2246.0

Таблица 2. Значения декремента затухания кинетического момента в разные временные этапы наблюдений

N П/ П	Объект	Временные этапы наблюдений в годах					$\gamma_{ср.}$ с/сут.
		1-2 го- ды	3-4 го- ды	5-6 го- ды	7-8 го- ды	9-10 годы	
1.	«Метеор-2»	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$	$0.8 \cdot 10^{-4}$	$0.15 \cdot 10^{-4}$	-	$3.68 \cdot 10^{-4}$
2.	«Космос-626»	$2.4 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$0.8 \cdot 10^{-4}$	-	$1.45 \cdot 10^{-4}$
3.	«Космос-651»	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$0.3 \cdot 10^{-4}$	-	$1.45 \cdot 10^{-4}$
4.	«Космос-654»	$2.3 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$0.2 \cdot 10^{-4}$	$0.1 \cdot 10^{-4}$	$1.33 \cdot 10^{-4}$

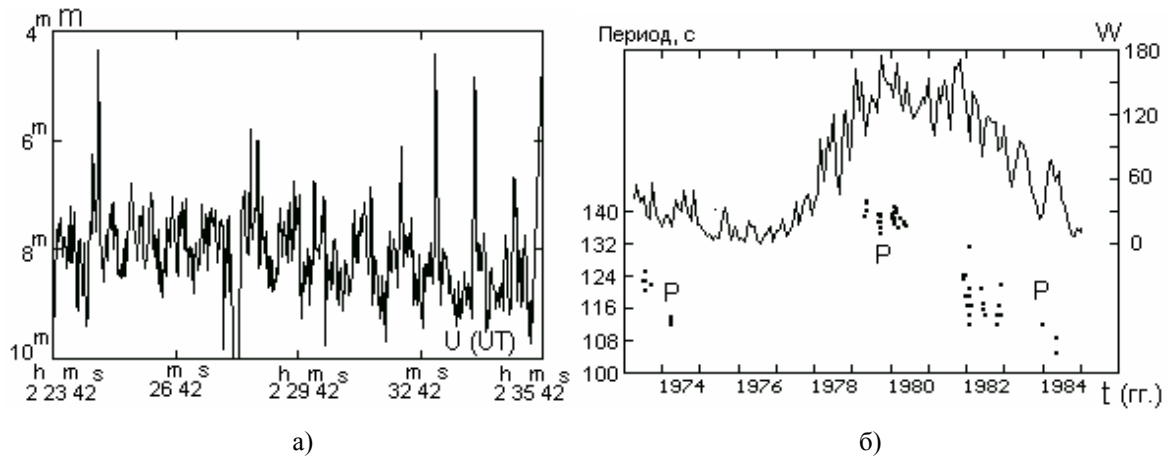


Рис. 1. а) Кривая блеска ИСЗ «Мидас-4» (№61028.01), записанная 18.03.1982г.; б) изменение периода собственного вращения (P) ИСЗ «Мидас-4» и чисел Вольфа (W) солнечной активности на протяжении 1973–1984гг.

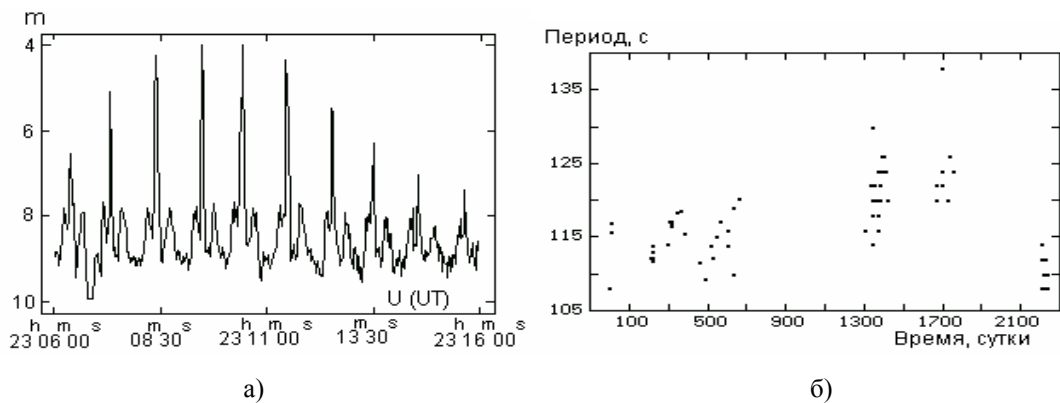


Рис.2. а) Кривая блеска ИСЗ «Мидас-7» (№63030.01), записанная 24.03.1982 г; б) изменения периода собственного вращения ИСЗ «Мидас-7» с 1978 по 1984 гг.

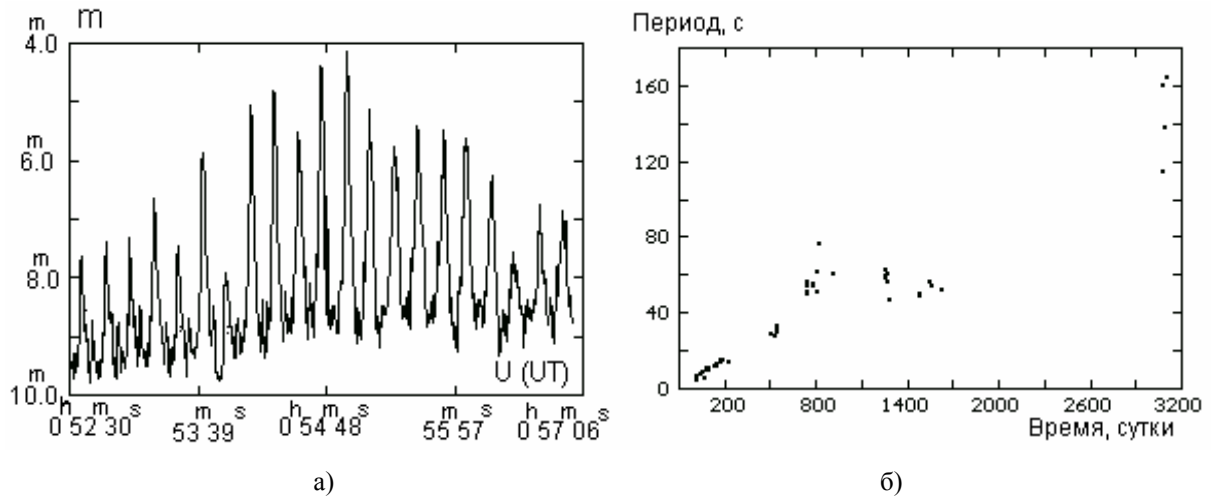


Рис.3. а) Кривая блеска ИСЗ «Метеор-2»(№ 70047.01), записанная 18.07.1978г.; б) изменение периода собственного вращения ИСЗ «Метеор-2»с 1978 по 1986 гг.

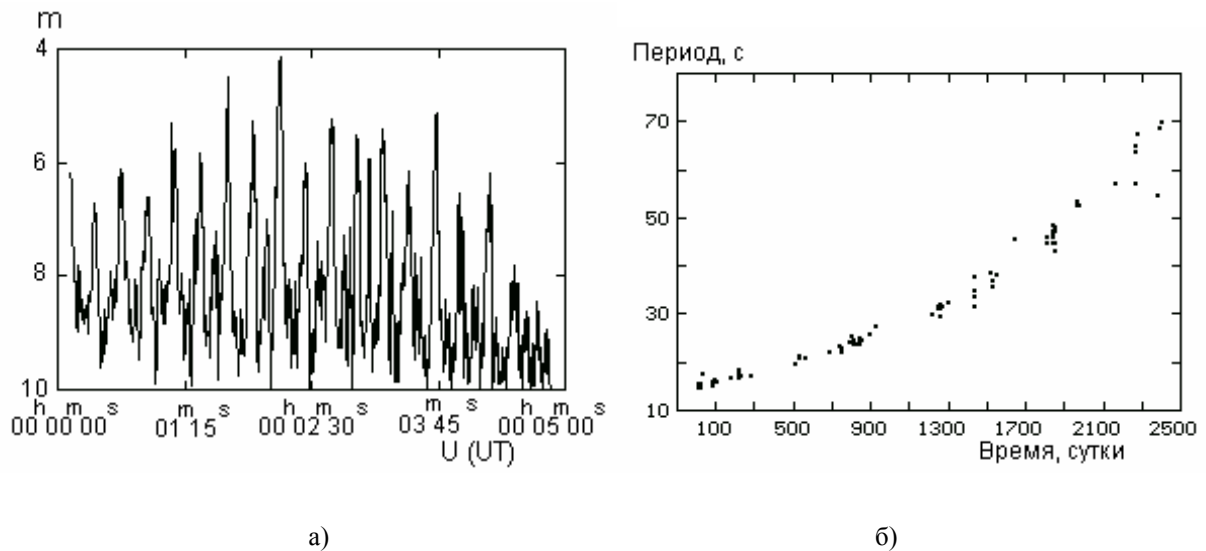


Рис.4. а) Кривая блеска ИСЗ «Космос-626» (№73108.01), записанная 2.04.1976 г.; б) изменения периода собственного вращения ИСЗ «Космос-626» с 1976 по 1982 гг.

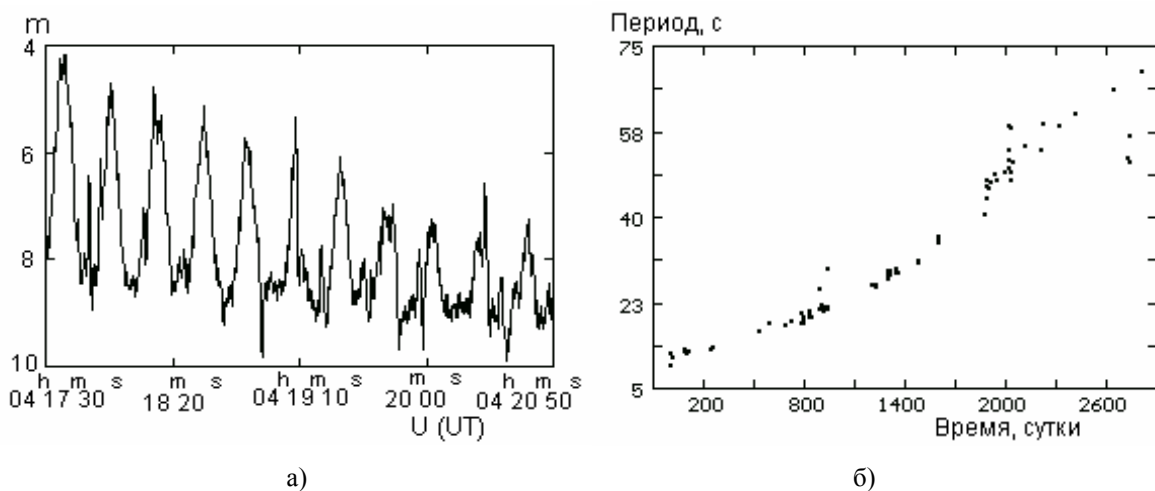


Рис.5. а) Кривая блеска ИСЗ «Космос-651» (№74029.01), записанная 12.12.1977 г.; б) изменения периода собственного вращения ИСЗ «Космос-651» с 1976 по 1983 гг.

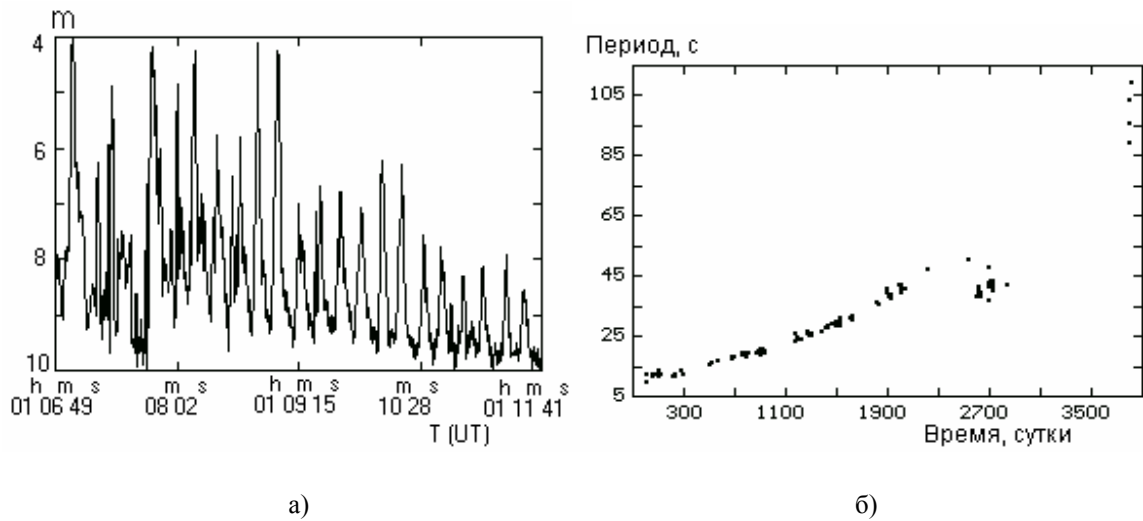


Рис.6. а) Кривая блеска ИСЗ «Космос-654» (№74032.01), записанная 10.05.1976 г.; б) изменение периода собственного вращения ИСЗ «Космос-654» с 1976 по 1986 гг.

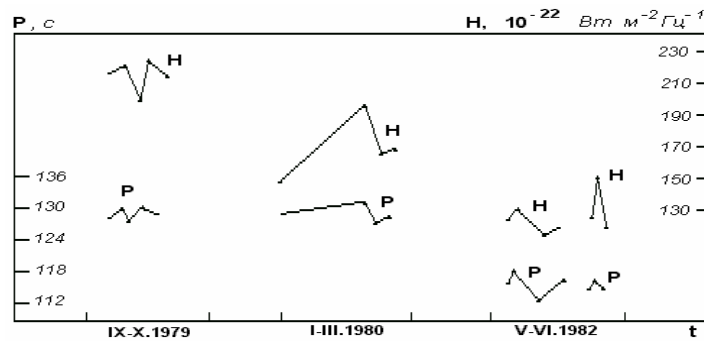


Рис.7. Фрагменты сопоставления солнечной активности на  $\lambda = 10,7\text{см}$  (H) и периодов собственного вращения ИСЗ «Мидас-4» (P) на отдельные моменты наблюдений

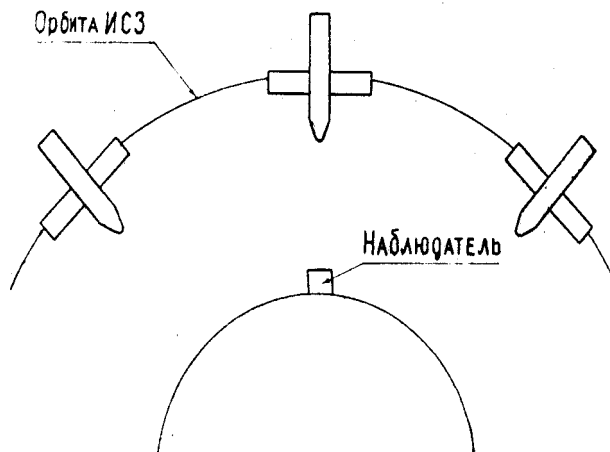


Рис.8. Ориентация ИСЗ серии «Мидас»

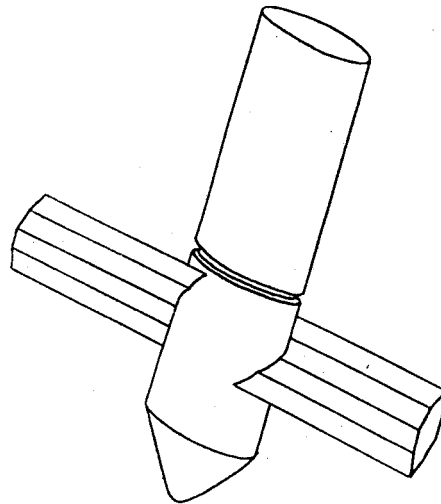


Рис.9. Макет ИСЗ «Мидас-4»

Таблица 3. Результаты определения величины возмущения, действующего на собственное вращение ИСЗ «Мидас»

Объект	Дата	$S_{эф}$ ( $m^2$ )	$Q$ ( $m/c^2 \cdot 10^8$ )	$L$ ( $кг \cdot m^2/c$ )	$K$ ( $H \cdot m$ ) $10^{-3}$	$M$ ( $H \cdot m$ ) $10^{-5}$	$\Delta M$ ( $H \cdot m$ ) $10^{-5}$	$M_L$ ( $H \cdot m$ ) $10^{-5}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
«Мидас – 3»	18.03.82	6.63	1.93	30.656	1.5625	2.36		
	23.03.82	7.19	2.10	30.317	1.5443	2.56	0.20	0.07
	24.03.83	7.35	2.14	30.542	1.5557	2.62	-0.06	2.33
«Мидас – 4»	24.08.79	3.32	1.00	22.38	1.2379	1.18		
	27.09.79	5.25	1.58	21.51	1.2175	1.78	0.68	0.45
	28.09.79	5.28	1.58	21.37	1.2057	1.87	0.09	0.27
	10.10.79	5.83	1.75	22.02	1.2180	2.07		
	11.10.79	6.28	1.89	21.85	1.2086	2.23	0.16	0.18
	18.02.80	6.94	2.08	22.05	1.2197	2.47		
	18.02.80	8.68	2.61	22.29	1.2330	3.09	0.62	3.11
	23.03.82	5.19	1.57	25.27	1.3421	1.86		
	24.03.82	4.92	1.49	25.50	1.2540	1.77	0.09	0.25
	25.03.82	5.74	1.74	25.29	1.3433	2.06	-0.29	-0.23
«Мидас – 7»	22.03.82	5.86	1.79	22.71	1.2352	2.09		
	23.03.82	7.79	2.38	22.81	1.2404	2.77	-0.68	0.11
	24.03.82	6.27	1.92	22.83	1.2416	2.23	0.54	0.02
	24.03.82	5.71	1.75	23.17	1.2604	2.04	0.19	0.42
	25.03.82	8.29	2.53	22.98	1.2499	2.95	0.91	1.92
	26.05.82	4.88	1.49	22.02	1.1277	1.74		
	27.05.82	3.40	1.04	23.12	1.1977	1.21	0.53	0.55