В ЖУРНАЛЕ «НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ИНСТИТУТА АСТРОНОМИИ РАН» ПУБЛИКУЮТСЯ СТАТЬИ ПО РАЗЛИЧНЫМ АСПЕКТАМ АСТРОНОМИИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ АСТРОФИЗИКЕ, ПЛАНЕТНОЙ АСТРОНОМИИ, ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ, ФИЗИКЕ СОЛНЦА, НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКЕ АСТРОНОМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ И ПРИБОРАМ, КОСМИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ИССЛЕДОВАНИЯМ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ.

e-ISSN 2712-8318
9 772712 831005

ISSN 2658-5669
9 772658 566009

ISSN 2658-5669 e-ISSN 2712-8318

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ИНСТИТУТА АСТРОНОМИИ РАН

INASAN SCIENCE REPORTS

ТОМ 6
ВЫПУСК 3

ИНАСАН

МОСКВА
2021

УДК 52
ББК 22.6
Н34

Н34 **Научные труды Института астрономии РАН. Том 6(3).** –
М.: Изд-во Янус-К, 2021, 32 с., илл.

ISSN 2658-5669 e-ISSN 2712-8318

Редколлегия

Сачков М.Е. (главный редактор), Вибе Д.З. (зам. главного редактора), Бисикало Д.В., Барабанов С.И., Кузнецов Э.Д., Малков О.Ю., Машонкина Л.И., Фатеева А.М., Шематович В.И., Шустов Б.М.

Секретарь редколлегии Вибе Е.Д.

«Научные труды Института астрономии РАН» – рецензируемый журнал, публикующий статьи по различным аспектам астрономии, в том числе по теоретической и наблюдательной астрофизике, планетной астрономии, звездной астрономии, физике Солнца, небесной механике, астрономическим методам и приборам, космическим исследованиям и исследованиям в области космической геодезии.

© ИНАСАН, 2021
© Коллектив авторов, 2021

INASAN Science Reports. Vol 6(3). M.: Janus-K, 2021, 32 pp.

ISSN 2658-5669 e-ISSN 2712-8318

Editorial Board

M.E. Sachkov (Editor-in-Chief), D.S.Wiebe (Deputy Editor-in-Chief), D.V. Bisikalo, S.I. Barabanov, E.D. Kuznetsov, O.Yu. Malkov, L.I. Mashonkina, A.M. Fateeva, V.I. Shematovich, B.M. Shustov

Staff Editor E.D. Wiebe

INASAN Science Reports is a peer-reviewed journal that publishes papers in various fields of astronomy, including theoretical and observational astrophysics, planetary astronomy, galactic astronomy, solar physics, celestial mechanics, astronomical methods and tools, space research and studies related to space geodesy.

© INASAN, 2021
© Author team, 2021

Научное издание

Научные труды
Института астрономии РАН.
Том 6 (3)

Сдано в набор 20.12.2021. Подписано в печать 31.12.2021
Формат 60x90/8. Бумага офсетная
Уч.-изд. п.л. 4,0. Физ. п.л. 4,0. Тираж 100. Заказ №7561

Издательство «Янус-К»
127411, Москва, Учинская ул., д. 1

Отпечатано в ООО «ИНФОРМ-СОФТ»
119034, Москва, Еропкинский пер., д. 16

Болидный рой метеорита Гланербруг. Список 14 метеоритообразующих болидных и метеороидных роев

Терентьева А.К., Барабанов С.И.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Яркий болид $-12.^{m}5$, произведший метеорит Гланербруг, наблюдался над Нидерландами 7 апреля 1990 г. в $18^{h}32^{m}38^{s}$ UT. Первые определения орбит были очень приблизительными и требовали уточнения. М. Лангброк, проанализировав основные данные, получил новые уточненные элементы орбиты метеорита Гланербруг. Мы применили эту систему элементов в нашем исследовании. Проанализировав каталоги метеорных и болидных роев, мы нашли болидный рой η-Ursa-Majorids. Его орбитальные элементы соответствуют орбитальным элементам метеорита Гланербруг. Болидный рой η-Ursa-Majorids принадлежит 14 метеоритообразующим роям, найденных нами. Выявлена астероидная ассоциация (три астероида), возможно, связанная с метеоритом Гланербруг и его болидным роем η-Ursa-Majorids. Это приводит к возможности существования в астероидно-метеороидной системе малых тел. Значения величины константы Тиссерана, вычисленные для всех пяти объектов данной системы, показывают, что все эти объекты, включая болидный рой с метеоритом Гланербруг, не имеют связи ни с кометами, ни с кометоидами, но могут иметь связь с астероидами. Все пять объектов имеют очень похожие значения константы Тиссерана. Мы также можем сделать предположение, что в прошлом все эти тела имели одну орбиту.

Ключевые слова: метеорито-образующий поток, болид, метеорит, орбита, астероид

Fireball stream of the Glanerbrug meteorite. List of the 14 meteorite-producing fireball and meteoroid streams

Terentjeva A.K., Barabanov S.I.

Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia

The bright fireball of $-12.^{m}5$, that produced the Glanerbrug meteorite, was observed over Netherlands on April 7, 1990, at $18^{h}32^{m}38^{s}$ UT. The first orbit determinations were very approximate and naturally required revision. M. Langbroek, having analyzed basic data, obtained new revised orbital elements of the Glanerbrug meteorite. We apply this system of elements in our research. Having analyzed catalogues of fireball and meteoroid streams, we found fireball stream of the η-Ursa-Majorids. Its orbital elements are consistent with those of the Glanerbrug meteorite. The η-Ursa-Majorids fireball stream belongs to the 14 meteorite-producing fireball streams, found by us. The orbital elements of those streams are presented. We revealed asteroid association (three asteroids) possibly related with Glanerbrug meteorite and its fireball stream of η-Ursa-Majorids. This leads to a possible existence of an asteroid-meteoroid system of minor bodies. Value of Tisserand's constant calculated for all five objects of this system reveals that all these objects including the fireball stream and Glanerbrug meteorite are not related with comets or cometoids but they may be related with asteroids. All five objects have very similar values of Tisserand's constant. On the base of this Tisserand's criterion does not contradict to the assumption that in the past all these bodies could have shared the same orbit.

Keywords: meteorite-producing stream, fireball, meteorite, orbit, asteroid

DOI: 10.51194/INASAN.2021.6.3.001

1. Introduction

Clear skies during twilight have allowed many people to observe the bright fireball of $-12^{m}.5$ on April 7, 1990 at $18^{h}32^{m}38^{s}$ UT over Netherlands. Its initial mass was from about 200 to 1000 kg [1]. The fireball was associated with the fall of the Glanerbrug meteorite. M. Langbroek [2] writes: "At Glanerbrug near the Dutch-German border, the Wichmann family discovered that evening that something had fallen through their roof, spreading hundreds of stone fragments and roof tile fragments over the floor of their attic...". The recovered total mass is about 800 g [3]. M. Niemeier and A. Bischoff [4] classify the Glanerbrug meteorite as an LL4-6 fragmental breccia with huge L-chondritic clasts. As M. Langbroek [2] remarks, Dutch All Sky camera network was not working because the meteorite fall occurred around sunset. As a result, based on a large number of eyewitness observations, a trajectory, velocity and orbital data were obtained [1, 5, 6, 7]. However all those orbit determinations were rather approximate and needed revision. M. Langbroek [2], having analyzed basic data, came to a conclusion that the published orbit of the Glanerbrug meteorite [6] "appears to have suffered from a human error in the data input and hence is incorrect". The published results for the radiant and orbit are not in agreement. M. Langbroek conclude that "the Glanerbrug orbit published in the 1992 paper is in error". In his paper M. Langbroek [2] has given new revised orbital elements of the Glanerbrug meteorite. He presented three systems of orbital elements for three values of velocity. An initial velocity of 20.9 km/s has been chosen by him as the favoured solution. This system of elements is used as a basis of our researches. It is presented in Table 1.

Table 1: Orbital elements and other parameters of the Glanerbrug meteorite and its fireball stream of the η-Ursa-Majorids.

Object name	Date	Geocentric radiant		V_∞	a	e	q	ω	Ω	i	π	Source
		α	δ	km/s	AU		AU					
Glanerbrug meteorite	1990 VI 7	208°	+46°	20.9	2.20	0.59	0.91	222°	17.816°	23°	240°	[1]
Fireball	IV 25-V 25	203	+51	16.6	2.404	0.578	0.995	194.0	53.3	15.6	247.3	No. 26 [2]

Note: Orbital elements of the Glanerbrug meteorite are given for the 2000.0 equinox; for the fireball stream they are given for the 1950.0 equinox. Sources: 1 — Langbroek [2], 2 — Terentjeva [8].

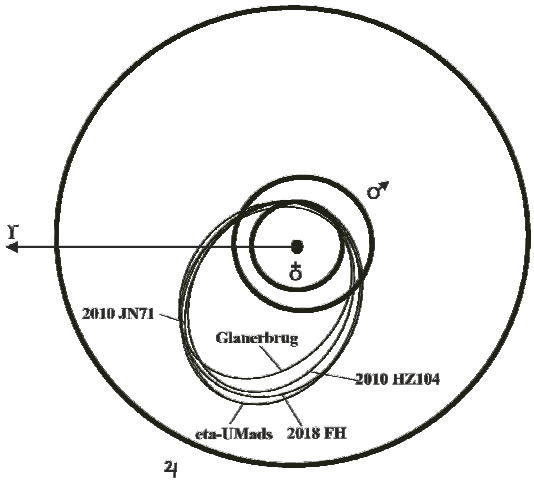


Figure 1: Family of minor bodies connected with the Glanerbrug meteorites.

2. Research results

Having analyzed catalogues of meteoroid and fireball streams we found fireball stream of the η-Ursa-Majorids [8]. Its orbital elements and other parameters are consistent with orbital elements and parameters of the Glanerbrug meteorite (Table 1, Figure 1). Fireball stream of the η-Ursa-Majorids enter in the list of the 11 meteorite-producing fireball streams, found by the authors [9]. We added three more meteorite-producing streams to this list and present all the 14 streams in Table 2, due to their significance.

We note that a meteoroid system presented in Table 1 forms a wide stream of the η-Ursa-Majorids. The Earth crosses it for 1.5 month approximately. How often among meteor showers are showers with long periods of activity? Leaving aside ten "so-called" large streams we refer to minor showers that are incomparably more numerous and that correspond of our subject. Among 249 minor meteor streams [16, 17], there are 8 streams (3%) with the activity of the corresponding showers during a month and more. Among 78 fireball streams [8] we found 16 streams (20%) with an activity of the corresponding meteor showers from one to two month (9 streams — one month, 4 streams — 1.5 months, 3 streams — 2 months). Thus among streams of large meteoroid bodies a fraction of longer acting showers is greater. From the total number of asteroids 789069 (https://www.minorplanetcenter.net) we have found a stream of three asteroids (Table 1, Figure 1) with orbital elements that agree well with orbital elements of Glanerbrug meteorite and its fireball stream (Table 1). A range of longitudes of ascending nodes does not create a problem but it makes a system wider with a longer period of visibility on the date. Never the less mean value of longitude of ascending node for meteoroid system (Table 1) is equal $\Omega = 35°$ and for the asteroid system (Table 2) this value is $\Omega = 36°$.

Figure 2 shows the ephemeris of theoretical geocentric radiant of asteroid 2010 JN71 (Table 3), whose orbit is more similar with the Glanerbrug meteorite's orbit. We calculated approaches of this asteroid's orbit to the Earth's orbit and theoretical geocentric radiants in all points of approach (up to the distance of $\rho \leq 0.20AU$). During 2.5 months asteroid's geocentric radiant moves along the curve (Figure 1), located north of the ecliptic and corresponding to the area in region of the orbit's descending node. There is one point of closest approach of the asteroid' orbit with the Earth's orbit (appulse) in region of the orbit's descending node of May 22 ($\lambda_\odot = 61°.518$, equinox 2000.0) with $\rho = 0.0305$ AU. Geocentric radiant and velocity for the moment of appulse are as follows: $\alpha = 211\ °.6$, $\delta = +57°.3$; $V_g = 12.62$ km/s, $V_{\rm inf} = 16.81$ km/s. All is quite acceptable consistent with the data

Table 2: Meteorite producing fireball and meteoroid streams. Equinox 1950.0

No.in catalogue	Stream	Date	Corrected geocentric radiant α	δ	V_∞ km/s	a AU	e	q AU	ω	Ω	i	π	Source
1[1]	μ-Orids	I 1-II 4	88°	+12°	16.4	1.866	0.524	0.854	51.7°	112.5°	4.1°	164.2°	Tagish lake meteorite [3]
20[1] [1]	χ-Virds	III 22-IV 28	183	−11	19.6	1.983	0.614	0.742	71.3	197.0	3.8	268.3	31 E
47[2]	ζ-drads	IV 2-25	262.0	+60.3	29.1	3.26	0.678	1.000	187.7	19.1	43.7	206.8	[5]
21A[2] [1]	α-Comds	IV 7-10	196	+21	21.6	2.66	0.70	0.782	241.9	18.3	13.3	260.2	Pribram meteorite 8E
26[1]	η-UMads	IV 25-V 25	203	+51	16.6	2.404	0.578	0.995	194.0	53.3	15.6	247.3	Glanerbrug meteorite 240F
37[1]	μ-Serds	VII 3-31	232	−4	14.1	2.447	0.594	0.992	197.3	114.3	3.3	311.6	405F
38[1] [1]	η-Serds	VIII 14-30	286	−3	13.5	1.73	0.439	0.968	210.5	150.2	4.5	0.7	38 E
44[1]	δEqu (N)	VIII 18-X 22	319	+9	18.3	2.629	0.659	0.868	228.5	169.2	9.3	37.7	–
	ε-Grads (Q)		321	−13	16.3	2.294	0.607	0.898	39.7	355.5	2.8	35.2	151 F
	(S)		342	−52	18.	2.205	0.589	0.907	43.1	344.8	14.9	27.9	–
50[1]	τ-Cetds	IX 28-XI 26	18	−19	20.4	2.442	0.667	0.791	58.4	27.4	11.6	85.8	503 F
131 [4]	ι-Pscds	X 8-24	6	+4	20.1	2.54	0.70	0.76	65	22	4	86	[6]
55 [1]	α-Andds	X 12-18	2	+26	21.8	2.441	0.688	0.738	248.6	201.2	12.4	89.8	[7]
64[1]	Cam-Lepds (N)	XI 12-XII 8	115	+70	14.6	0.794	0.287	0.566	337.0	228.9	16.1	205.9	–
	(S)		91	−14	14.8	0.898	0.266	0.658	127.8	66.4	12.7	194.2	275 F
70[1]	δ-Arids (N)	XI 22-XII 21	53	+29	18.4	1.826	0.560	0.766	247.3	251.1	4.2	138.4	
	(Q)		55	+18	19.4	2.440	0.671	0.786	59.7	75.0	1.2	134.7	219 I
	(S)		61	+7	18.6	1.982	0.591	0.788	62.8	75.4	5.8	138.2	
72[1] [1]	ζ-Tauds	XII 1-27	82	+23	26.2	2.164	0.756	0.518	275.7	260.0	3.8	175.7	40 E,470 F,223 I

Notes: 1 — [8], 2 — [10], 3 — [11], 4 — [12], 5 — [13], 6 — [14], 7 — [15].

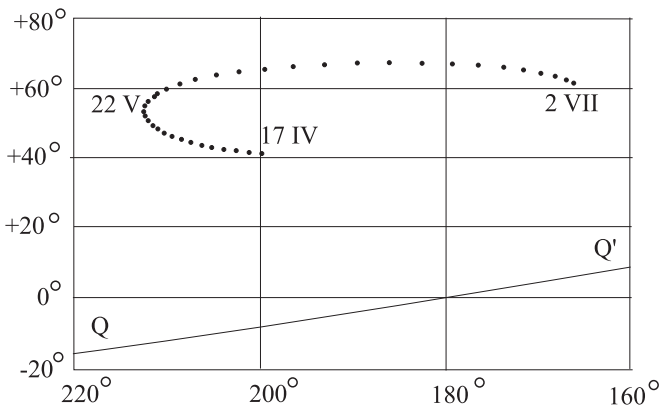


Figure 2: Ephemerides of geocentric radiant of asteroid 2010 JN71 in the area of the descending node. Asterisk marks radiant for the moment of appulse. QQ' — ecliptic.

in the Table 1. Last, but not least [18], studying the secular perturbations of 109 minor meteor streams over the interval for 4000 years by means of the Gauss-Halphen-Goryachev method, revealed what some meteor streams have an interesting property: for 4000 years theirs longitude of perihelion

$$\pi = \omega + \Omega$$

stayed constant (with an accuracy of a degree), q and e did not virtually change, inclination i changed within insignificant limits or change was less than one degree, and longitude of ascending node Ω rapidly decreased. For example, for stream No.6 (p. 14) Ω has decreased for 4000 years at 39° and for stream No. 33 (p. 40) — at 99° (!). Anyway this leads to the formation of wider streams. If we apply the widely used criterion for the determination of stream membership proposed by R.B. Southworth and G.S. Hawkins, then for two orbits (Table 1) we obtain a value of $D_{\rm sh} = 0.26$. For the Glanerbrug meteorite and the asteroid association (Table 3) we obtain a mean value of $D_{\rm sh} = 0.33$. It is quite appropriate for such a wide stream and association. For major streams such as the Taurid-Arietid $D_{\rm sh}$ ranges from 0.29 to 0.32 [19]. Nevertheless, we should note that there are no universal mathematical criteria. Not any criterion can take into account the whole range of orbits, individual properties and peculiarities of meteor showers and streams. The used criteria give inappropriate results for the streams, whose orbits are close to ecliptic, streams with N, S and Q branches, most of wide streams, etc. As Prof. Astapovich once said, one cannot push the vast variety of phenomena into limits of formal mathematical criterion. Thus, requiring $D_{\rm sh}$ to be less than 0.1 for all streams in the Solar System is incorrect. Mathematical criteria while searching, of course, help to find required orbits, though these play a subsidiary role. The main role belongs to common sense [20].

We calculated values of Tisserand's constant C for all five objects (Table 1, 3) by formula:

$$C = 1/a + 2/a_j^{3/2}\sqrt{p}\cos i$$

Table 3: Asteroid association possibly connected with the Glanerbrug meteorite and its η-Ursa-Majorid fireball stream. Equinox 2000.0.

Name	a AU	e	q AU	Q AU	ω	Ω	i	π
2010 HZ104	2.24914	0.56766	0.9724	3.52591	165°	77°.43868	20°24915	242∘.96321
2010 JN71	2.38401	0.58895	0.97994	3.78808	185.58146	62.45274	17.72438	248.0342
2018 FH	2.42459	0.58878	0.99704	3.85213	273.86372	330.48064	20.53192	244.34436

Table 4: Tisserand's constant for some objects presented on the given article.

Object	C
Glanerbrug meteorite	0.6403
Fireball stream η-UMads	0.6214
2010 HZ104	0.5966
2010 JN71	0.6199
2018 FH	0.6111

(where the perturbing planet is Jupiter, a — the asteroid semimajor axis, e — the asteroid eccentricity, i — the asteroid inclination, a_j — the semimajor axis of the perturbing planet — Jupiter). This constant is equivalent to the constant Jacobi's integral in the restricted problem of tree bodies. Bellow we present values of Tisserand's constant C for these objects (Table 4).

This study leads to following conclusions:the values of the Tisserend's constant show that all five objects of this meteoroid-asteroid system, including the fireball stream with the Glanerbrug meteorite, have no connection with either comets or cometoids, but may have a connection with asteroids. In C-distribution of several minor body populations (long-period, parabolic and short-period comets, asteroids, minor meteoroids streams, large meteoroid bodies, including meteorite producing bodies) [21] the so-called group of "cometoids" is only located in the range of Tisserand's constant $\Delta C = 0.50 - 0.58$. Beside Tisserand's constant does not contradict the assumption that all this bodies (Table 1, 3) with very similar values of constant C (the average deviation from the absolute mean is $\Delta C = 0.0112$) could form in some single process or at least in sufficiently similar conditions. And possibly, that in the past they could have shared the same orbits.

We calculated values of Tisserand's constant for all meteorite producing streams showed Table 2. We calculated value of Tisserand's constant for all meteorite producing streams, from Table 2. It turned out that for streams, the values of C lie in the asteroid range $0.60 - 1.140$, for two streams No 21A ($C = 0.567$), No 131 ($C = 0.585$) — in range of cometoids and for one stream No 47 ($C = 0.468$) — in range of short period comets.

3. Conclusion

On the basis of the above, it can be concluded following:

1. Relation was founded of the Glanerbrug meteorite with famous meteorite-producing fireball stream of the η-Ursa-Majorids.

2. The asteroid association (three asteroids) was revealed. This association together with Glanerbrug meteorite and its fireball streams η-Ursa-Majorids may make up a single one system of related to each other minor bodies.

3. Tisserand's values show what all five objects of given meteor-asteroid system together with fireball stream and Glanerbrug meteorite have not relation with comets or cometoids, but may have relation with asteroids. Good the similarity of Tisserand's constant value for all five object means that in the past they could have shared the same orbit.

4. The calculation of the Tisserand's constant for 14 meteorite-producing streams shows that 11 streams may have a possible connection with asteroids, 2 streams with cometoids and 1 with short-period comets.

5. It is necessary to draw the attention of the creators of the Earth's general space security system to the need to include potentially dangerous meteorite-producing streams in the database for monitoring the Earth for space disasters. This hazard was demonstrated by the recent fall of the Chelyabinsk meteorite in 2013, which was not sporadic, but was associated with a meteoroid stream. Recall, by the way, that the radiants of meteoroids from among the 66 studied by I.S. Astapovich [22] in 47% of cases coincided with the known radiants of meteoroid streams.

References

1. P. Jenniskens, *Radiant, Journal of the Dutch Meteor Society*, **12**, 56, 1990.
2. M. Langbroek, *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, **32**, 138, 2004.
3. L. Lindner, C. Alderliesten, K. C. Welten, C. Maijer, et al., *Meteoritics*, **25**, 379, 1990.
4. M. Niemeier and A. Bischoff, in S. Mackwell and E. Stansbery, eds., *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, 1625, Lunar and Planetary Science Conference (2006).
5. H. Betlem, *Radiant, Journal of the Dutch Meteor Society*, **12**, 72, 1990.
6. P. Jenniskens, J. Borovicka, H. Betlem, C. Ter Kuile, F. Bettonvil, and D. Heinlein, *A&A*, **255**, 373, 1992.
7. P. Jenniskens, J. Borovička, H. Betlem, C. Ter Kuile, F. Bettonvil, and D. Heinlein, *Publications of the Astronomical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences*, **79**, 1992.
8. A. K. Terentjeva, in C. I. Lagerkvist, H. Rickman, and B. A. Lindblad, eds., *Asteroids, Comets, Meteors III*, 579 (1990).
9. A. Terentjeva and S. Barabanov, *In NEA Earth Astronomy. IX International Conference. Abstract Book. Terskol*, 64, 2017.
10. A. K. Terentjeva, *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, **11**, 109, 1967.
11. A. Terentjeva and S. Barabanov, *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, **32**, 60, 2004.
12. A. K. Terenteva, in *Physics and Dynamics of Meteors*, 62 – 132 (1968).
13. A. Terentjeva and S. Barabanov, *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, **33**, 94, 2005.
14. A. Terentjeva and S. Barabanov, *In NEA Earth Astronomy. IX International Conference. Abstract Book. Terskol*, 64, 2015.
15. A. K. Terentjeva and E. S. Bakanas, *Solar System Research*, **55**, 379, 2021.
16. A. K. Terentjeva, *Astron. Tsirk. AN SSSR*, 1–7, 1966.
17. A. K. Terenteva, in L. Kresak and P. M. Millman, eds., *Physics and Dynamics of Meteors*, volume 33, 408 (1968).
18. I. V. Galibina, *Secular perturbations of minor meteor streams. Catague. Materials of the World Data Center* (1979).
19. R. B. Southworth and G. S. Hawkins, *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, **7**, 261, 1963.
20. A. Terentjeva and G. Bolgova, *eMeteorNews*, **5**, 1, 2020.
21. A. K. Terenteva, *Soviet Astronomy Letters*, **15**, 112, 1989.
22. I. S. Astapovich, *Meteor Phenomena in the Earth Atmosphere, FizMatLit* (1958).

Управляемое предапертурное зеркало с областью наведения 50°×120° для 30 см телескопа космической системы обнаружения декаметровых астероидов (проект СОДА)

Буслаева А.И., Шмагин В.Е., Шугаров А.С.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

В работе предложена концепция управляемого предапертурного зеркала для быстрого перенаведения широкоугольного телескопа с полем зрения 3.75° и апертурой 30 см для космической системы обнаружения декаметровых астероидов (проект СОДА). Область наведения составляет $50^\circ \times 120^\circ$, время перенаведения между соседними площадками не более 3 с. Рассмотрены ближайшие российские и зарубежные аналоги, даны рекомендации по использованию управляемого зеркала в проекте СОДА.

Ключевые слова: сканирующее зеркало, широкоугольный телескоп, астероидно-кометная опасность

Pre-aperture slewing mirror with pointing area of 50°×120° for 30 cm aperture telescope for the system of observation of day time asteroids (SODA project)

Buslaeva A.I., Shmagin V.E., Shugarov A.S.

Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia

We propose a conceptual design of a controlled pre-aperture mirror for the fast repositioning of a wide field telescope with a field of view of 3.75° and an aperture of 30 cm for a space system to detect decameter sized asteroids (the SODA project). The pointing area is $50^\circ \times 120^\circ$ and the repointing time between the adjacent fields is less than 3 seconds. Similar systems, equipped with a pre-aperture mirror, from different Russian and foreign projects have been considered, as well as recommendations on the use of a controlled mirror in the SODA project.

Keywords: slewing mirror, wide field telescope, asteroid hazard problem

DOI: 10.51194/INASAN.2021.6.3.002

1. Введение

В крупных проектах, телескоп, как правило, жестко соединен с платформой. Наведение на объект осуществляется поворотом всего космического аппарата (КА) с последующим успокоением и переходом в режим прецизионной стабилизации платформы с телескопом.

При проектировании относительно мелких телескопов, выступающих в роли дополнительной полезной нагрузки, либо если на КА имеется большое количество других научных приборов со своими требованиями к ориентации платформы, либо если требуются очень частые перенаведения на большие углы, телескоп должен обеспечивать автономное наведение и слежение за интересующим объектом, а также, вероятно, автономную компенсацию остаточных дрейфов космической платформы.

Автономное наведение небольшого телескопа может осуществляться двумя способами — с помощью полноапертурного зеркала, установленного перед входным зрачком телескопа, или путем установки телескопа на полноценное опорно-поворотное устройство.

Основные преимущества наведения с помощью полноапертурного зеркала — быстрота наведения, малый момент инерции, и, как следствие, небольшой возмущающий момент во время перенаведения и возможность его компенсации; недостатки — увеличение габаритов и массы конструкции (размер зеркала больше входной апертуры телескопа), дополнительная отражающая поверхность в оптическом тракте.

Основные преимущества наведения с помощью опорно-поворотного устройства — больший сектор наведения; недостатки — увеличение сложности конструкции.

В 2021 г. в ИНАСАН были продолжены работы по определению концептуального вида перспективного проекта СОДА (Система обнаружения дневных астероидов) [1, 2] для обнаружения декаметровых астероидов, летящих со стороны Солнца. Один или два КА будут размещены в окрестности точки L_1 системы Земля–Солнце на расстоянии около 1.5 млн км от Земли.

Телескопы СОДА должны обеспечивать два режима работы:

- режим массового обнаружения новых астероидов, летящих со стороны дневной небесной полусферы;
- режим уточнения орбиты отдельных опасных астероидов от момента их обнаружения до сближения с Землей.

Основная критическая технология проекта СОДА — создание широкоугольного телескопа апертурой около 30 см с системой быстрого перенаведения с помощью предапертурного зеркала. В режиме массового обнаружения новых астероидов телескоп должен быть способен каждые несколько минут осматривать

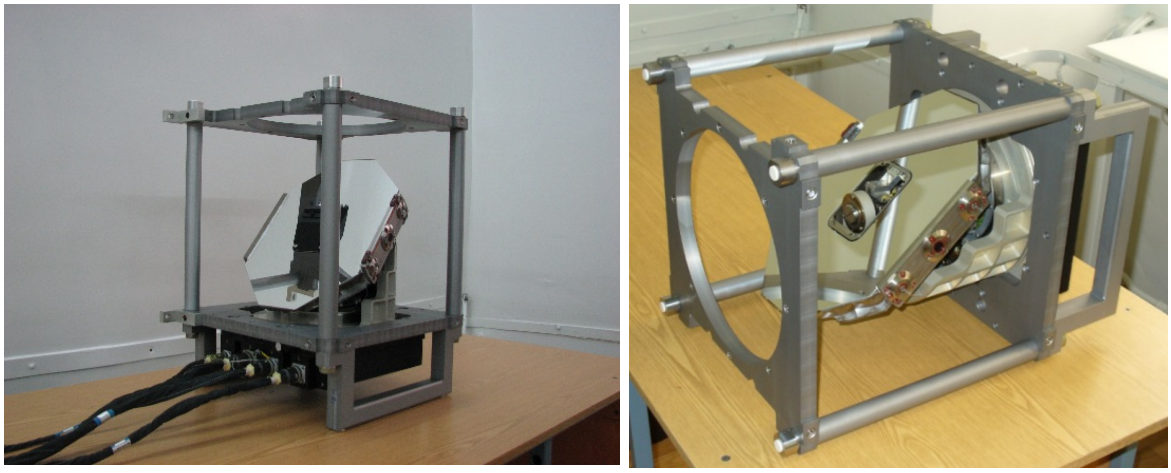


Рис. 1: Двухкоординатное оптико-механическое сканирующее устройство БСКР-Т, КА серии «Электро-Л».

конусный оптический барьер вокруг Земли с проницанием до 17^m. В режиме уточнения орбиты избранных астероидов телескоп должен обеспечивать точность угловых измерений лучше $0.5''$ на длинной дуге от момента обнаружения тела на конусном барьере до его сближения с Землей, а также фотометрические измерения.

В настоящей работе представлена концепция предапертурного поворотного зеркала, обеспечивающая область наведения телескопа $50° \times 120°$. Время перенаведения составит не более 3 с, время однократного обзора оптического барьера вокруг Земли тремя телескопами составит 3.5 минуты, что соответствует требованиям проекта СОДА.

В сводной табл. 1 приведены основные параметры телескопа и предапертурного зеркала КА СОДА.

Таблица 1: Основные параметры предапертурного зеркала и телескопа КА СОДА.

Параметр	Значение
Апертура телескопа, мм	300
Фокусное расстояние, мм	450
Общая длина оптической системы, мм	1100
Спектральный диапазон, нм	450–900
Диаметр поля зрения, градусов	3.75
Размер детектора, мм	30×30
Типовая экспозиция, с	2...4
Предельное проницание, зв. вел. (V)	17
Астрометрическая точность единичного наблюдения, угл.с.	0.5
Размер предапертурного зеркала, мм	480×340
Угол прокачки зеркала (тангаж), градусов	+20...+45
Угол прокачки зеркала (крен), градусов	−60...+60
Область обзора одного телескопа с предапертурным зеркалом, градусов	50×120
Время перенаведения на соседнюю площадку, с	3
Время осмотра барьера вокруг Земли тремя телескопами, мин	3.5
Количество перенаведений за 10 лет, шт	$5{\cdot}10^7$

В последующих разделах дано более подробное описание предапертурного зеркала, включая действующие аналоги.

2. Примеры реализации систем перенаведения телескопа с помощью предапертурных зеркал в других проектах

В качестве основы для проектирования привода предапертурного зеркала для проекта СОДА можно использовать опыт создания двухкоординатного оптико-механического сканирующего устройства БСКР-Т (рис. 1) от прибора МСУ-ГС (многозональное сканирующее устройство гидрометеорологического обеспечения) [3]. Данное зеркало работает в непрерывном режиме совместно с ИК телескопом апертурой 220 мм, осуществляя строчную и кадровую развертку для получения изображений Земли каждые 30 минут, угол сканирования составляет 10°. БСКР-Т разработан в СКБ КП ИКИ РАН.

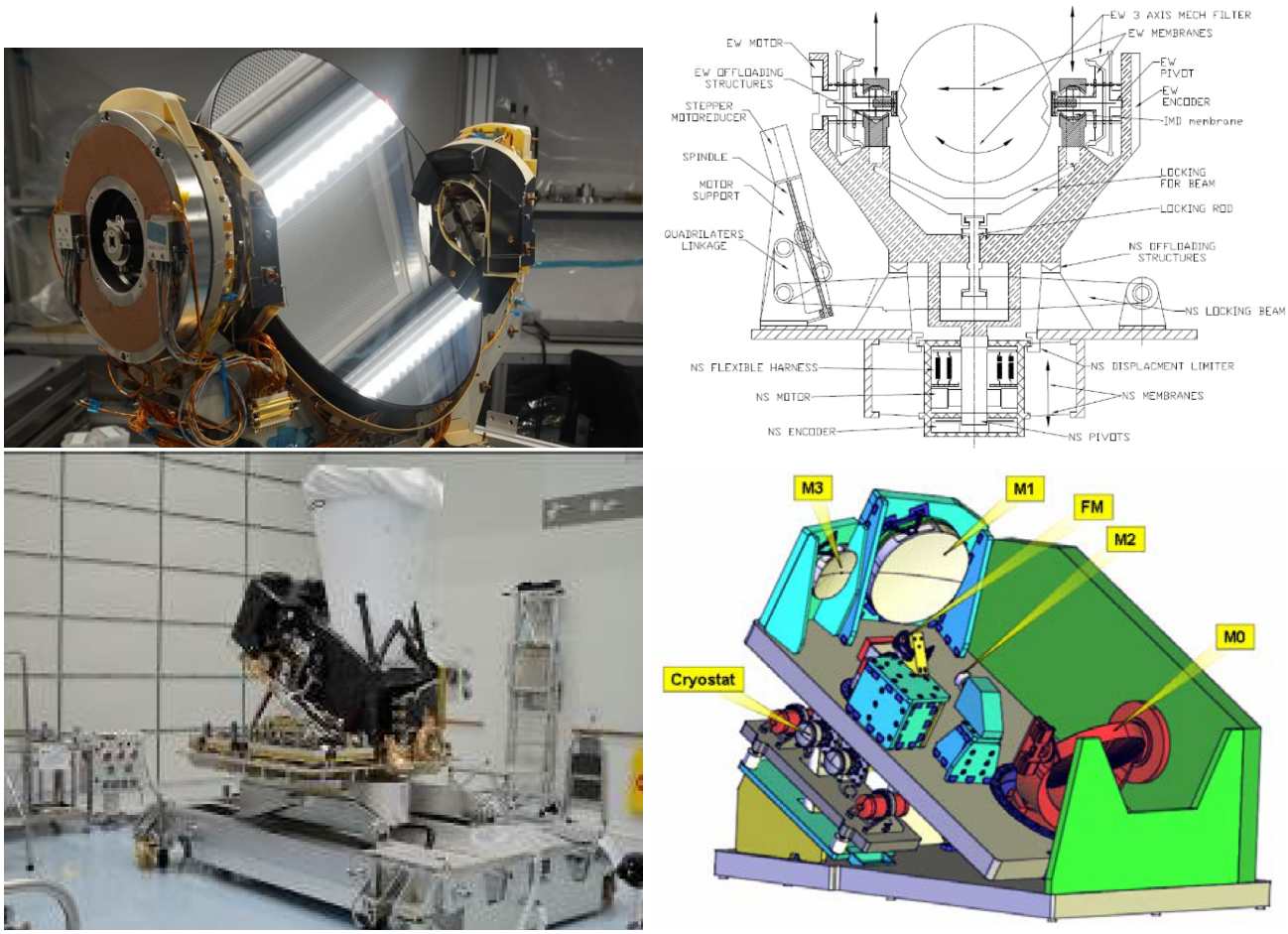


Рис. 2: Проект MTG: модуль сканирования (SCA) с плоским зеркалом 300 мм (вверху), телескоп FCI (внизу).

Другим примером использования поворотного зеркала является европейский метеорологический проект Meteosat третьего поколения (MTG) [4]. Программа MTG была создана в рамках сотрудничества между EKA и EUMETSAT. Телескоп FCI спроектирован и разработан компанией OHB Systems. Для наведения телескопа используется модуль сканирования (SCA) на основе плоского предапертурного зеркала [5], разработанный компанией SENER (рис. 2). Двухосевой карданный сканер с управлением по обратной связи от энкодеров обеспечивает отличную точность наведения и высокую гибкость, позволяя быстро сканировать Землю и просматривать космическое пространство. Требования к зеркалу перенаведения телескопа КА СОДА очень похожи на основные параметры SCA. Основные характеристики SCA:

- Размер зеркала 300 мм;
- Угол прокачки зеркала 30° для инструмента FCI и 45° для инструмента IRS;
- Скорость сканирования до 2 °/с, время разворота на 180° менее чем за 0.8 с;
- Абсолютная точность наведения оптической оси 170 μrad, включая ошибки управления и шум энкодера;
- Точность удержания объекта 0.6 μrad в течении 10 с;
- Механизм блокировки на время запуска;
- Система демпфирования для поддержания требуемой точности в случае возмущений со стороны платформы.

В рамках китайской миссии на Луну Chang'E-3 в NAOC/CAS (Национальная астрономическая обсерватория Китая/Китайская академия наук) был разработан лунный телескоп LUT (Lunar-based Ultraviolet telescope) [6]. LUT использует преимущество наблюдений с поверхности Луны, т.к. отсутствие атмосферы и медленное вращение Луны. Телескоп расположен на посадочном модуле миссии Chang'E-3. Основные научные задачи проекта — продолжительный фотометрический мониторинг переменных звезд в ближнем УФ в течение десятков дней, проведение обзора галактической плоскости в ближнем УФ.

Телескоп LUT [6] оптической схемы Ричи-Кретьена со светосилой 1:3.75 имеет апертуру 150 мм, поле зрения $1.36° \times 1.36°$, масштаб изображения $4.76''$/пиксель. Перед входной апертурой телескопа установлено плоское зеркало в карданном подвесе с управлением по двум осям, которое позволяет наводить телескоп на интересующие источники с точностью $90''$. В качестве детектора используется ПЗС AIMO CCD E2V47-20

формата 1024×1024 пикселей с увеличенной УФ чувствительностью, с термоэлектрическим охлаждением до 40°C ниже температуры окружающей среды, рабочая температура ПЗС составляет от –40°C (на рассвете или в сумерках) до –20°C (в полдень). Проницающая сила телескопа составляет mAB 13^m при экспозиции 30 с. Два светодиода с центральной длиной волны 286 нм обеспечивают получение внутреннего плоского поля. Максимальная эффективность LUT на длине волны 250 нм составляет 8%.

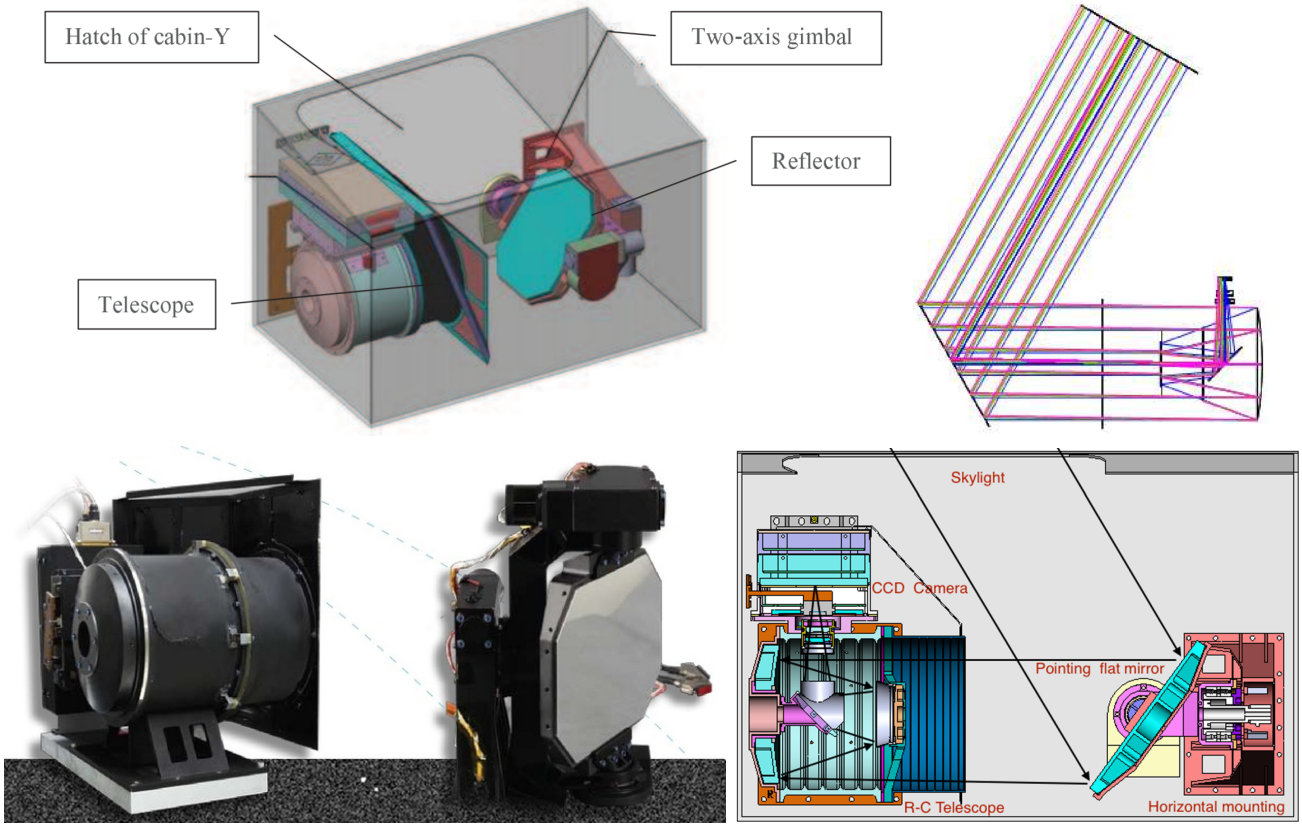


Рис. 3: Схема телескопа LUT, миссия Chang'E-3.

КА «Михайло Ломоносов», запущенный в 2016 г., имеет в составе научной аппаратуры прибор UFFO (Ultra Fast Flash Observatory), предназначенный для изучения гамма-всплесков, состоящий из телескопа УФ и оптического диапазонов с апертурой 10 см и рентгеновской камеры [7]. Телескоп системы Ричи-Кретьена с полем зрения $17' \times 17'$ оборудован плоским управляемым предапертурным зеркалом, которое позволяет в течение 1 секунды наводиться на область, где произошел гамма-всплеск, зарегистрированный широкоугольной рентгеновской камерой. Угол перенаведения с помощью зеркала достигает 70°. Угловое разрешение на МКП детекторе составляет $4''$/пиксель, спектральный диапазон 200–650 нм. Общий вес сборки телескопа с зеркалом составляет 11.5 кг, энергопотребление 10 Вт, габариты 30×20×62 см.

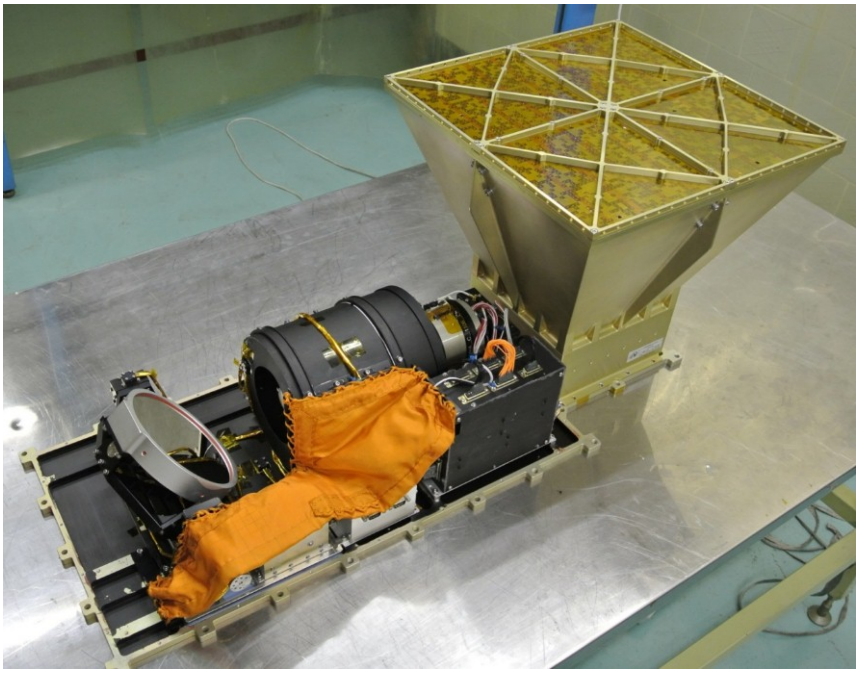
2. Предапертурное зеркало перенаведения телескопа для проекта СОДА

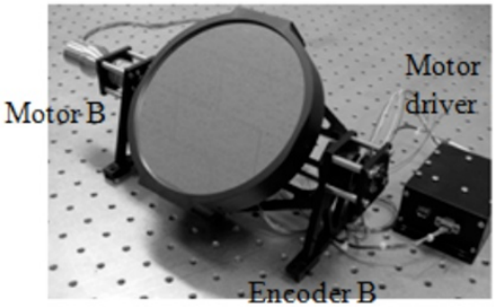
Предапертурное зеркало перенаведения телескопа СОДА является неотделимой частью оптической схемы телескопа, таким образом, оптимизация всей системы должна вестись с учетом габаритов плоского зеркала, доступных углов прокачки по обеим осям, механической конструкции, обеспечивающей жесткую связку карданного подвеса зеркала с оптической трубой телескопа, возможности размещения бленд. Подобные требования сужают круг потенциально пригодных широкоугольных оптических схем для проекта СОДА.

Оптическая схема телескопа (рис. 6) основана на камере Зоннефельда и состоит из двухлинзового апертурного корректора, внутренний элемент которого работает в двойном ходе лучей, зеркала Манжена и двухлинзового корректора вблизи фокальной плоскости. Фотоприемник и корректор размещены внутри трубы, что позволяет исключить виньетирование пучка до его отражения от плоского зеркала.

При выборе параметров зеркала перенаведения для телескопа для проекта СОДА мы руководствовались следующими критериями:

- апертура телескопа 30 см;
- поле зрения не менее 3°;





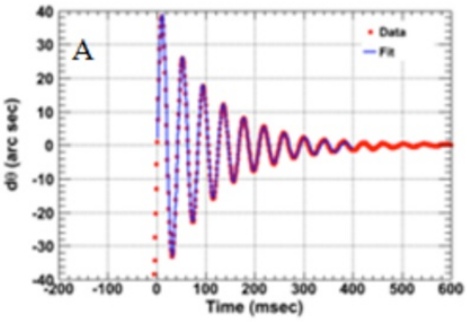


Рис. 4: Научный прибор UFFO, КА «Михайло Ломоносов».

- время перенаведения между соседними площадками (на величину 3°) с учетом успокоения не более 3 с;
- зеркало должно располагаться как можно ближе к входной апертуре телескопа для минимизации размера предапертурного зеркала перенаведения телескопа;
- угол прокачки по углу тангажа должен быть около 22.5° (отклонение оптических лучей 45°);
- угол прокачки по углу крена должен быть максимально возможным, более 100°;
- привод по уголу крена должен быть реализован на моментных двигателях без использования механических приводов.

Поясним каждое из требований.

Апертура телескопа и поле зрения обусловлены требованием обеспечить достаточный темп (каждые 3.5 минуты) обзора конусного барьера вокруг Земли в проекте СОДА и обеспечить достаточное количество засечек при прохождении наблюдаемого тела через оптический барьер.

Темп обзора конусного барьера определяется количеством площадок, экспозицией на каждой площадке, временем считывания детектора и временем перенаведения на следующую площадку с последующим успокоением. Типовая экспозиция на площадке составляет 4 с, поэтому время перенаведения на следующую площадку должно быть минимальным, не более 3 с. По сравнению с этой величиной, время успокоения КА может быть существенным, поэтому нужно рассмотреть возможность активной компенсации остаточных колебаний космического аппарата с помощью зеркала перенаведения телескопа.

Угол прокачки по углу тангажа напрямую влияет на размеры зеркала и общую длину сборки. Определяющее требование со стороны проекта СОДА — обеспечение полного угла раствора конуса не менее 90°. Это требование объясняется тем, что оптимальная конфигурация проекта СОДА состоит из трех одинаковых телескопов, каждый из которых отвечает за сканирование половины конусного барьера (рис. 7), т.е. область перенаведения каждого телескоп должна быть не менее 45°. Таким образом, угол прокачки зеркала по углу тангажа должен быть около 22.5° — половина от требуемой области обзора 45° для одного телескопа.

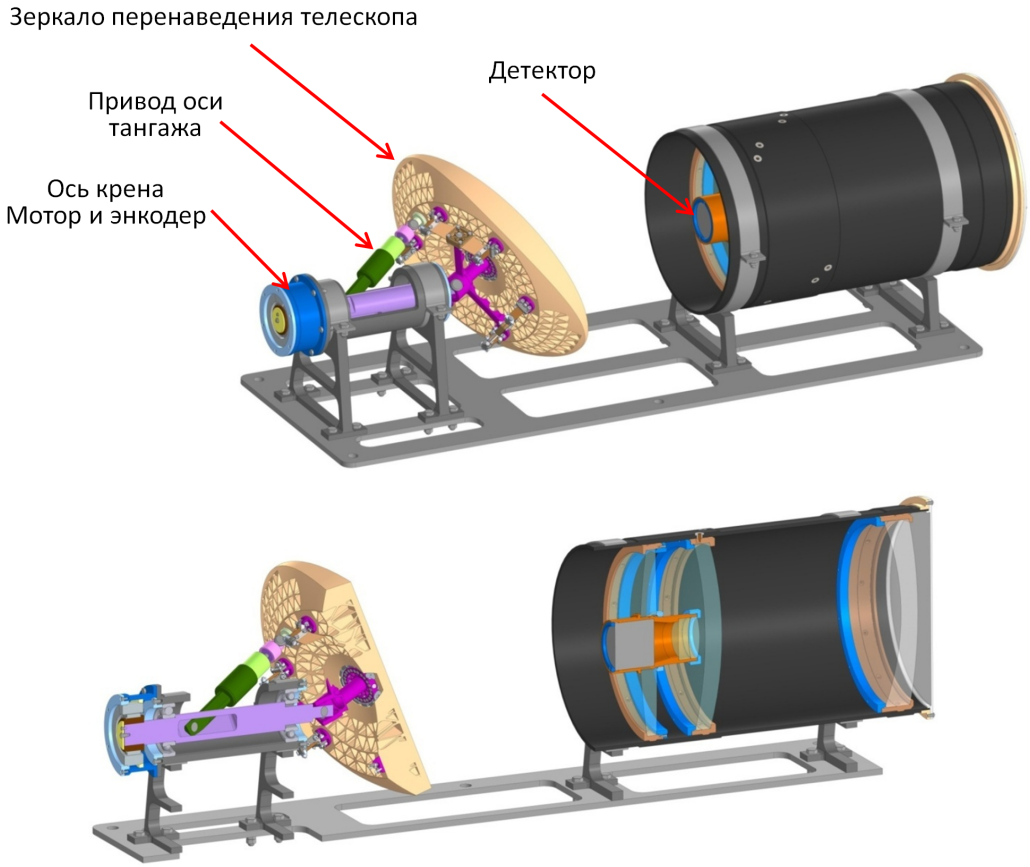


Рис. 5: Концепция телескопа с предапертурным зеркалом перенаведения для проекта СОДА.

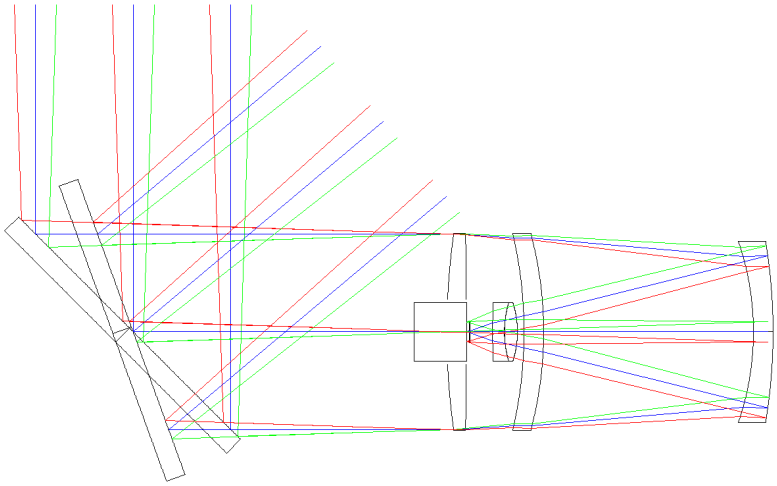


Рис. 6: Вариант оптической схемы телескопа с предапертурным зеркалом перенаведения для проекта СОДА.

Угол прокачки по углу крена должен быть максимальным, более 100°, чтобы обеспечить максимальную область обзора для каждого телескопа с целью увеличить зону перекрытия между соседними телескопами. Основным ограничивающим фактором здесь будет виньетирование со стороны соседних телескопов. При наличии в составе КА СОДА трех телескопов, примерно 50% области обзора может быть одновременно осмотрено двумя телескопами. Это позволит увеличить надежность системы за счет резервирования телескопов. При отказе одного телескопа произойдет потеря лишь 17% от области наблюдаемого пространства. При отказе двух из трех телескопов произойдет потеря 50% от области наблюдения, т.е. КА СОДА все еще сохранит достаточную функциональность. Наличие перекрытий областей обзора дает возможность наблюдений особо опасных тел в режиме слежения за объектом синхронно двумя телескопами с одного КА, что

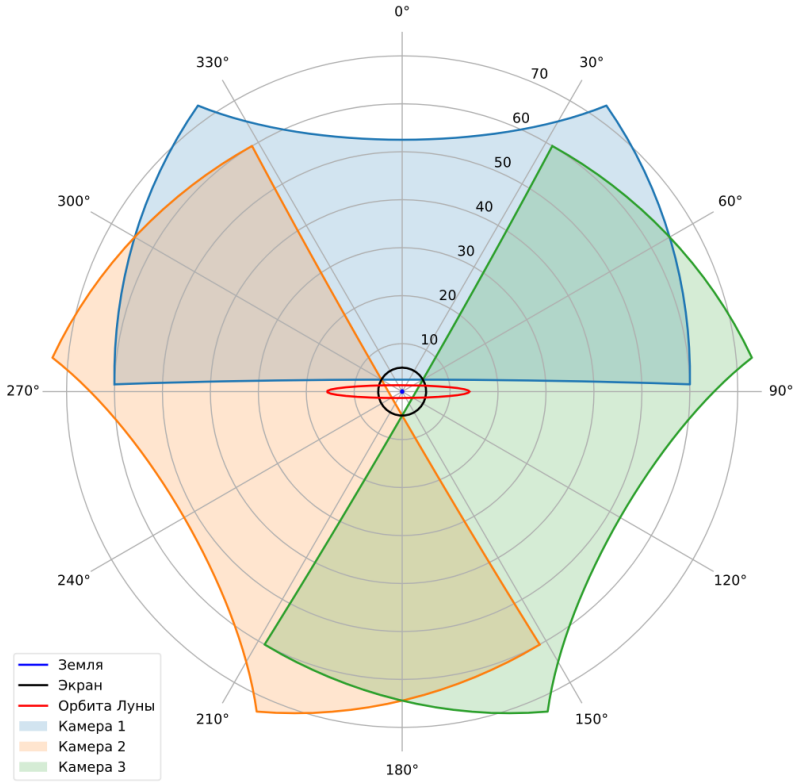


Рис. 7: Компоновка областей обзора трех телескопов системы СОДА из точки L_1 в полярной системе координат (Земля в центре).

увеличит астрометрическую точность. Астрометрическая точность наблюдений является одним из основных факторов, влияющих на точность предсказания координат вхождения тела в атмосферу.

В ходе реализации программы наблюдения, которая включает в себя последовательное формирование замкнутого конусного барьера вокруг Земли, существенная доля перенаведений телескопа между соседними площадками может проводиться только по одной координате — по углу крена. Привод этой оси должен быть рассчитан на огромное количество перенаведений ($5{\cdot}10^7$), использование каких-либо механических приводов (шестерни, червячные пары) недопустимо. Ось тангажа может быть реализована как на линейном приводе (рис. 5), так и на моментном двигателе, аналогично сканеру SCA (рис. 2).

Несмотря на кажущуюся «ненадежность» предлагаемого для проекта СОДА метода непрерывных перенаведений телескопа с помощью достаточно крупного предапертуного зеркала, БСКР-Т, при схожих габаритах и режимах работы, начиная с 2011 г. и по настоящее время, подтвердило свою высокую надежность в ходе эксплуатации на метеорологических КА серии «Электро-Л».

5. Заключение

В работе представлен вариант реализации предапертурного зеркала для перенаведения широкоугольного телескопа для перспективной космической системы СОДА.

В качестве основы для проектирования привода предапертурного зеркала можно использовать опыт создания двухкоординатного оптико-механического сканирующего устройства БСКР-Т в СКБ КП ИКИ РАН для прибора МСУ-ГС или двухосевой карданный сканер (SCA), разработанный компанией SENER для проекта MGT.

Предложенный вариант реализации предапертурного зеркала для перенаведения телескопа может рассматриваться в качестве одного из базовых при проведении НИР «СОДА».

Список литературы

1. B. M. Shustov, A. S. Shugarov, S. A. Naroenkov, and M. E. Prokhorov, *Astronomy Reports*, **59**, 983, 2015.
2. A. Shugarov, B. Shustov, and S. Naroenkov, *Open Astronomy*, **27**, 132, 2018.
3. R. V. Andreev, N. P. Akimov, K. V. Badaev, Y. M. Gektin, et al., *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy*, **5**, 33, 2015.

4. J. Ouaknine, T. Viard, B. Napierala, U. Foerster, et al., in *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 10563, 1056323 (2017).
5. MTG Scan Assembly (SCA), `https://www.aeroespacial.sener/en/products/mtg-scan-assembly-sca/`.
6. J. Wang, X. M. Meng, X. H. Han, H. B. Cai, et al., *Ap&SS*, **360**, 10, 2015.
7. S. Jeong, in *International Cosmic Ray Conference*, *International Cosmic Ray Conference*, volume 9, 243 (2011).

Преимущества малых научных космических проектов

Иосипенко С.В.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

В настоящее время в рамках федеральной космической программы реализуются только амбициозные масштабные научные проекты, для которых характерны сложности как технического, так и финансово характера. Данные сложности можно нивелировать путем формирования небольшого, но стабильного государственного заказа на малые и средние научные космические проекты. Выполнение данных проектов через структуры Министерства науки и высшего образования также позволит выработать новые подходы, позволяющие в перспективе значительно повысить эффективность в части стоимости и сроков реализации проектов.

Ключевые слова: научные космические проекты, инновационное развитие, ракетно-космическая отрасль

Advantages of small scientific space projects

Iosipenko S.V.

Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia

Currently, only ambitious large-scale scientific projects are presented in the federal space program of Russia. These projects are characterized by both technical and financial difficulties. These difficulties can be leveled by the formation of a small but stable government order for small and medium-sized scientific space projects. The release of these projects through the structures of the Ministry of Science and Higher Education will also help to develop new approaches that will allow, in the future, to significantly increase efficiency in terms of the cost and timing of projects.

Keywords: scientific space projects, innovative development, space industry

DOI: 10.51194/INASAN.2021.6.3.003

1. Введение

Научные космические проекты во всем мире в большинстве своем реализуются по заказу правительств. В России роль как заказчика, так и головного исполнителя научных проектов выполняет ГК «Роскосмос». Выполнение этих проектов происходит в рамках федеральной космической программы (ФКП), которая в свою очередь реализуется в соответствии с законом о государственном оборонном заказе [1]. Соответственно и научные проекты в стране ведутся в статусе гособоронзаказа под контролем военного представительства. Отрицательное влияние такого статуса очевидно, так эксперты отмечают, что «слияние военных и гражданских видов космической деятельности в одной структуре делает ее менее гибкой, не позволяет адекватно реагировать на стремительно меняющиеся рыночные условия» [2].

В ФКП научные космические проекты реализуются в рамках направления Фундаментальных исследований. Бюджетное финансирование по ФКП на 2016–2025 годы приведено далее на рисунке, на котором можно видеть, что финансирование по направлению НИОКР составляет около 9% от всего бюджета (см. рис. 1).

В рамках действующего ФКП 2015–2025 запланирована реализация ряда научных проектов с общим объемом бюджетного финансирования в 143,2 млрд. рублей. Все запланированные научные программы являются очень крупными и международными проектами: космические обсерватории («Спектр-Р», «Спектр-РГ», «Спектр-УФ», «Спектр-М»), космические аппараты для исследования Луны («Луна-Глоб», «Луна-Ресурс-1», «Луна-Ресурс-2», «Луна-Грунт»), спутники для изучения космических эффектов на организмы («Бион-М»), аппараты для исследования планет Солнечной системы («ЭкзоМарс», «Экспедиция-М») и системы контроля солнечной активности («АРКА», «Интергелио-Зонд», «Резонанс»).

2. Преимущества малых научных проектов

Анализ приведенных ранее материалов позволяет увидеть особенность, заключающуюся в том, что все запланированные к реализации проекты являются крупными, дорогостоящими и обладают длительными периодами реализации, в тоже время небольшие в части характеристик стоимости и циклов реализации научные проекты в космической программе не предусмотрены. Экспертами отмечается, что «в программе доминируют крупные и сложные проекты, задуманные зачастую десятилетия назад. Сложившаяся структура ФКП противоречит мировому опыту, демонстрирующему комбинацию относительно редких больших проектов и разнообразия малых спутников с существенно меньшими сроками подготовки» [3].

Реализация крупных научных проектов связана с решением как многочисленных технических задач, так и с преодолением экономических трудностей. При общей нестабильной экономической обстановке в мире и в нашей стране финансирование космической деятельности часто подвергается пересмотру и как правило

Рис. 1: Распределение финансирования ФКП по направлению НИОКР (https://www.kommersant.ru/doc/2714095).

пересмотр идет в сторону его уменьшения [4]. Так поиск по запросу «секвестр космической программы» в поисковике Яндекс выдает более 7 миллионов результатов. В следствии указанных причин дефицита бюджета, секвестированию подвергаются в первую очередь именно научные проекты. Эта проблема усугубляется тем, что как уже было сказано, все проекты в федеральной космической программе очень амбициозные, т.е. большие, долгосрочные и дорогостоящие и по сложившейся практике контрактуются не сквозным договором «до конца», а заключаются поэтапно на часть последующих работ в рамках проекта на которые правительством подтверждены денежные лимиты. Это приводит к частому пересмотру состава работ, сроков выполнения и их стоимости (всегда в сторону увеличения), а необходимость утверждения данных изменений на уровне федеральной космической программы правительством Российской Федерации и последующие длительные заключения договоров от госкорпорации «Роскосмос» «вниз» по кооперации в свою очередь делают этот процесс очень длительным (от года и более), значительно растягивая сроки реализации изначально длительных и сложных проектов. Решением данной проблемы может быть либо более точное бюджетное планирование, что довольно сложно в виду сильной подверженности экономическим и политическим кризисам, либо сквозное контрактирование работ с авансированием до 90% стоимости и более, что является невозможным для таких крупных проектов.

В этом разрезе малые и средние научные космические проекты лишены указанных недостатков и потому заслуживают отдельного внимания. Так формирование государственного заказа на небольшие научные космические проекты с суммарным объемом финансирования всего в год 1% от ФКП позволит реализовывать до 10 проектов в год, в то время как в настоящее время в действующем ФКП предусмотрено всего 12 проектов за весь десятилетний срок реализации. Выполнение данной части государственного заказа целесообразно возложить на Министерство науки и высшего образования в лице РАН или совета по космосу РАН, что даст ряд дополнительных преимуществ:

- заказчик напрямую заинтересован в положительном результате создания и целевого функционирования и контролирует процесс с позиций дальнейшего целевого эксплуатанта техники с постоянной оценкой возможности получения с ее помощью научного результата;
- относительно небольшая стоимость реализации малых проектов позволит заключать с исполнителем сквозные контракты и доводить авансирование до 80–90% для минимизации влияния экономической обстановки в последующие года на реализацию проектов;
- возможность выполнения проектов в форме научно-исследовательских работ (НИР) без необходимости выполнения всех требований положения РК-11 и военных систем стандартов, без требований по использованию исключительно отечественной элементной базы (только с получением заключения о безопасности), без привлечения военного представительства и казначейского сопровождения. Все это позволит в короткие сроки сформировать новые подходы к созданию космической техники, позволяющие в перспективе значительно повысить эффективность в части стоимости и сроков реализации проектов;

- министерство уже имеет ряд научных и образовательных институтов, имеющих космическую лицензию, что позволит приступить к реализации плана, не дожидаясь внесения изменений в положение о лицензировании космической деятельности;
- ряд научных и образовательных институтов имеют опыт и компетенции в области создания космической техники, а также необходимые производственные и испытательные мощности.

3. Малый космический проект ИНАСАН

В настоящее время в ИНАСАН ведется проработка малого научного космического проекта по созданию космического аппарата для проведения наблюдения ярких объектов и областей в УФ-диапазоне, не доступных в рамках обзора GALEX. Для удешевления общей стоимости проекта и уменьшения сроков реализации проекта космический аппарат будет реализован в стандарте CubeSat в форм-факторе 3U (см. рис. 2).

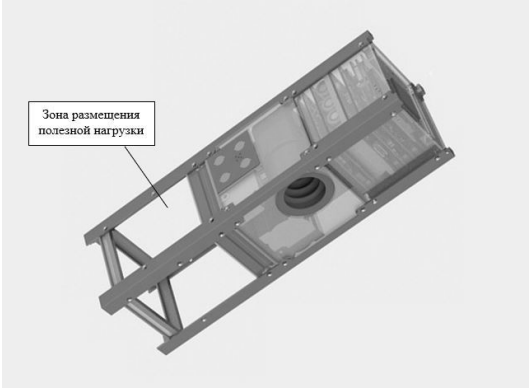


Рис. 2: CubeSat ИНАСАН.

В качестве полезной нагрузки будет выступать камера ультрафиолетового диапазона (100–300 нм) и полем зрения не менее 5 градусов и масштабом 11 сек/пиксель. Полезная нагрузка проектируется таким образом, чтобы вписаться в габариты $90 \times 90 \times 90$ мм и обладать массой, не превышающей 1 кг [5].

Реализация космического аппарата в стандарте CubeSat, а также использование протолетного подхода, когда проведение наземной экспериментальной отработки производится на том же образце, который в дальнейшем будет запущен в космос, позволит осуществить создание и запуск спутника в срок, не превышающий 2 года.

4. Заключение

Предложенный подход позволяет заполнить отсутствующую в настоящий момент нишу малых научных проектов в космической программе России с одновременным нивелированием недостатков, связанных со сложностью реализации и финансирования, характерных для больших проектов. Реализация через структуры Министерства науки и высшего образования позволит на уже существующей базе приступить к реализации без необходимости внесения изменений в законодательство, что само по себе является длительным процессом. С экономической точки зрения малые проекты позволяют выделять на них сразу всю необходимую сумму и заключать сквозные контракты, что почти полностью снимает риски финансирования. В части институционального направления, отделение малых проектов от общего потока без распространения на них общих требований по созданию военной техники позволит проработать и сформировать новые подходы к реализации инновационных проектов, которые в дальнейшем можно будет масштабировать.

Список литературы

1. Federal'nyj zakon N 275-FZ «O gosudarstvennom oboronnom zakaze» ot 29.12.2012.
2. Rossijskaya kosmicheskaya otrasl': ozhidaniya biznesa i obshchestva. Rezul'taty ekspertnogo issledovaniya, Tsentr social'nogo proektirovaniya «Platforma», 2019.
3. A. A. Petrukovich and O. V. Nikiforov, *Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*, **3**, 22, 2016.
4. V. N. Tovstonoshenko, *Vestnik of SibGAU*, **2**, 523, 2015.
5. S. G. Sichevsky, S. V. Iosipenko, V. E. Shmagin, M. E. Sachkov, and S. V. Shostak, *INASAN Science Reports*, **4**, 146, 2019.

Камера инфракрасного (теплового) диапазона для контроля состояния атмосферы над морским горизонтом симеизской обсерватории ИНАСАН

Николенко И.В.[1], Маслов И.А.[2]

[1] *Институт астрономии РАН, Москва, Россия*
[2] *Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

Имеющийся на симеизской обсерватории ИНАСАН инфракрасный датчик облачности контролирует состояние атмосферы в районе зенита, однако при наблюдении объектов со значительными отрицательными склонениями желательно иметь информацию о наличии облачности в южном направлении низко над горизонтом. В статье описана установленная для этой цели камера и результаты ее тестирования.

Ключевые слова: инфракрасная камера, Симеизская обсерватория ИНАСАН, контроль состояния атмосферы

Infrared (thermal) camera for monitoring the state of the atmosphere above the sea horizon of the Simeiz Observatory INASAN

Nikolenko I.V.[1], Maslov I.A.[2]

[1] *Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia*
[2] *Space Research Institute of the RAS (IKI), Moscow, Russia*

The infrared cloud sensor available at the Simeiz Observatory INASAN monitors the state of the atmosphere in the zenith area, however, when observing objects with significant negative declinations, it is desirable to have information about the presence of clouds in the south direction low above the horizon. The article describes the camera installed for this purpose and the results of its testing.

Keywords: infrared camera, Simeiz observatory INASAN, monitoring the state of the atmosphere

DOI: 10.51194/INASAN.2021.6.3.004

1. Введение

Для измерения распределения яркостной температуры атмосферы в направлении на юг ($\pm 45°$) и зенитных углов $45-90°$ была установлена камера с термопарной матрицей, дающей инфракрасное изображение (рис. 1) 32×32 пикселя. Кроме атмосферы, в поле зрения камеры попадают поверхность моря и суша (рис. 2).

2. Аппаратура

Инфракрасная камера использует приемник HTPA32x32dL2.1/0.8 (фирмы Heimann Sensor) имеющий термопарную матрицу с 32×32 элементами (табл. 1) и германиевую линзу (табл. 2), которые обеспечивают поле

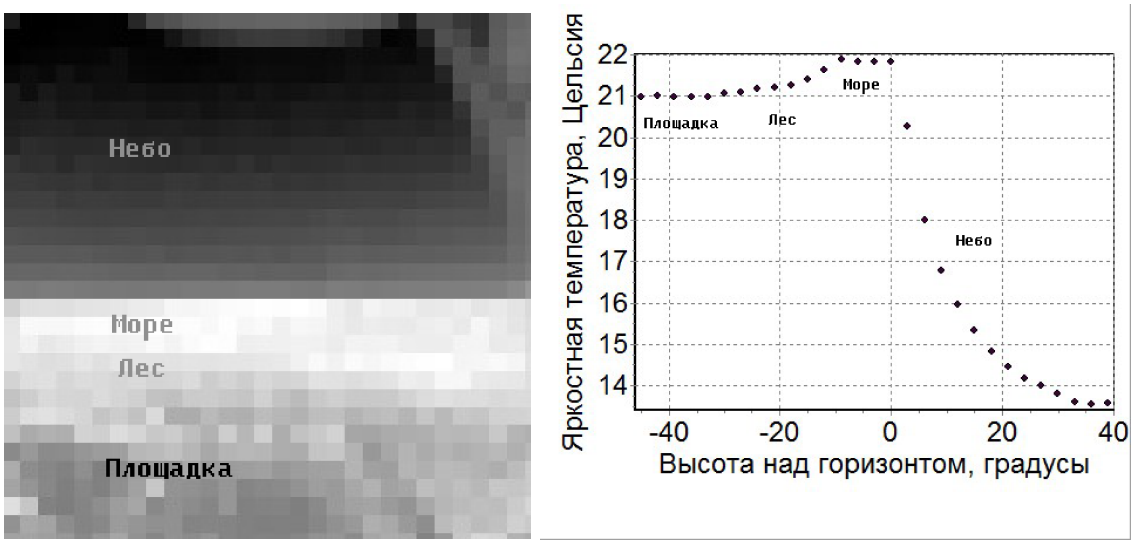


Рис. 1: Пример изображения полученного инфракрасной камерой (слева) и распределения яркостной температуры от высоты над горизонтом (справа) в полосе $\pm 6°$ от направления на юг.

Рис. 2: Вид на юг от башни телескопа Цейсс-1000 Симеизской обсерватории.

Таблица 1: Спецификация термоэлектрической матрицы

Чувствительность	450 В/Вт без оптики и светофильтра
Тепловая постоянная времени	< 4 мс
Цифровой интерфейс	I2C
Шаг матрицы элементов	90 мкм
Размер поглощающей площадки	77 мкм
Максимальная частота кадров	60 Гц
Число чувствительных элементов	1024

Таблица 2: Оптическая спецификация ИК-приемника

Фокусное расстояние	2.1 мм
Светосила	0.8
Поле зрения	$90^\circ \times 90^\circ$
Просветляющее покрытие линзы	отражение от поверхности $< 3\%$ для полосы $8 < \lambda < 11.5$ мкм

зрения $90^\circ \times 90^\circ$. Приемник подключен к микрокомпьютеру Raspberry Pi, связь с которым осуществляется по WiFi. Операционная система — Linux. Программа управления и обработки информации, написанная на языке Python, осуществляет суммирование 100 кадров матрицы, получаемых с частотой 10 Гц и преобразование отсчетов, на основе калибровки камеры, в яркостную температуру и изображение. Кроме того осуществляется запись времени измерения и других необходимых параметров. Периодичность съемки составляет 1–2 минуты. Суточный объем информации — около 6 Мбайт. Возможен доступ к накапливаемой информации через HTTP-сервер.

3. Тестирование

Тестирование камеры заключалось в ее калибровке внешним черным телом при различных температурах и штатной круглосуточной работе по съемки горизонта в направлении на юг. Примеры получаемых кадров приведены на рис. 3. Вертикальные разрезы хорошо показывают наличие сплошной или почти сплошной облачности, а горизонтальные — выделяют отдельные облака на чистом небе (см. рис. 4).

4. Заключение

Тестирование камеры показало возможность обнаружения наличия облачности низко над горизонтом и оценке погодных условий в направлении над морской поверхностью. Это дает дополнительную информацию для комплексной системы управления телескопа Цейсс-1000, в частности при наблюдении объектов с большими отрицательными склонениями. В дальнейшем планируется автоматизировать процедуру распознавания наличия облачности в поле зрения камеры.

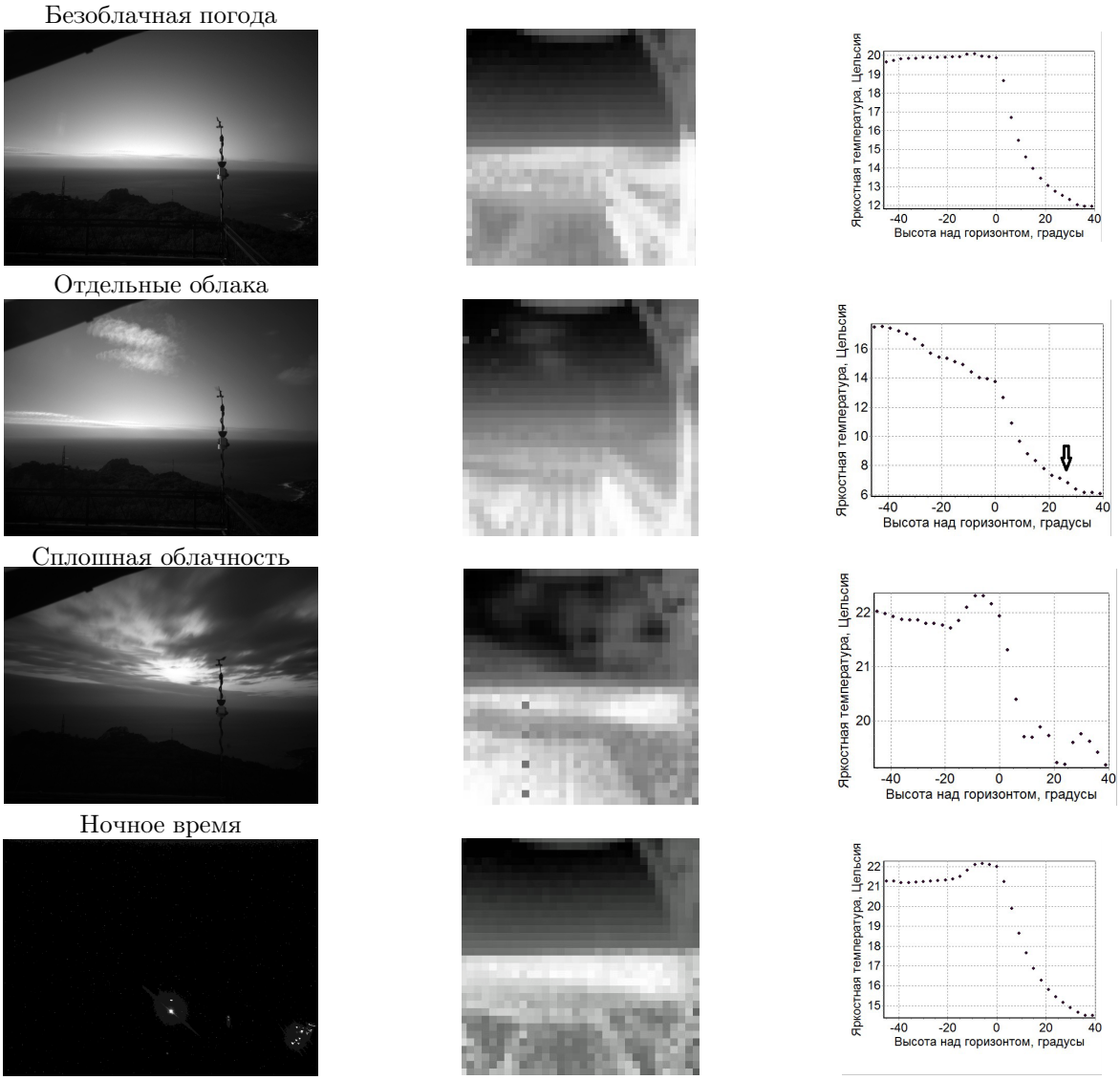


Рис. 3: Примеры работы камеры для различных погодных условий. Стрелкой указано место отклонения яркости атмосферы от ее типичной зависимости от угла над горизонтом, вызванного присутствием облака.

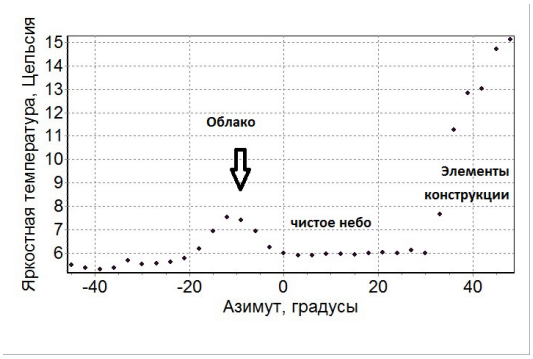


Рис. 4: Азимутальное распределение яркостной температуры для высоты 24° над горизонтом при наличии отдельного облака (то же, что на рис. 3).

Наблюдения марс-кроссеров на 1-м телескопе Симеизской обсерватории ИНАСАН

Барабанов С.И.[1], Кравцова А.С.[1,2], Волков И.М.[1,2], Баканас Е.С.[1]

[1] *Институт астрономии РАН, Москва, Россия*
[2] *Государственный астрономический институт им П.К.Штернберга, Москва, Россия*

С 2010 г. на 1-м телескопе в Симеизе проводятся многоцветные наблюдения астероидов, сближающихся с орбитой Земли (АСЗ). Не всегда, по условиям наблюдений, возможно исследовать АСЗ достаточной яркости для получения качественных наблюдений, особенно при многоцветной фотометрии, когда отклик камеры при использовании отдельных фильтров слишком слаб для получения достоверной информации. При отсутствии подходящих объектов из группы АСЗ мы выбирали объекты исследования из близкой группы к АСЗ группы марс-кроссеров. Эти астероиды в ряде случаев также могут или пересекать орбиту Земли или находиться достаточно близко. Причем в процессе эволюции орбит АСЗ и марс-кроссеров могут менять принадлежность к родственному семейству. Также очень интересна возможность исследовать таксономию марс-кроссеров в сравнении с АСЗ и характеристики собственного вращения, наряду с эволюцией их орбит. Мы представляем результаты наблюдений трех марс-кроссеров, наблюдавшихся на 1-м телескопе в Симеизе, и анализ полученных данных по периодам вращения и характерным особенностям изменения блеска и таксономии.

Ключевые слова: орбита, астероид, спектральный класс

Observations of Mars-crossing asteroids with 1-m telescope of Simeiz Observatory of INASAN

Barabanov S.I.[1], Kravtsova A.S.[1,2], Volkov I.M.[1,2], Bakanas E.S.[1]

[1] *Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia*
[2] *Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia*

Since 2010, multicolour observations of approaching Earth's orbit (NEA) asteroids have been carried out at the 1-m telescope in Simeiz. Not always, according to the observation conditions, it is possible to study the NEA of sufficient brightness to obtain high-quality observations, especially in multicolour photometry, when the camera response when using separate filters is too weak to obtain reliable information. In the absence of suitable objects from the NEA group, we selected objects of study from a group close to the NEA of the Mars crossover group. In some cases, these asteroids can also either cross the Earth's orbit or be close enough. Moreover, in the process of evolution of the orbits of NEAs and Mars-crossers, they can change belonging to a related family. Also very interesting is the opportunity to study the taxonomy of Mars crossers in comparison with the NEA and the characteristics of their own rotation, along with the evolution of their orbits. We present the results of observations of three Mars crossers observed with the 1-m telescope in Simeiz and an analysis of the data obtained on the rotation periods and characteristic features of the change in brightness and taxonomy.

Keywords: orbit, asteroid, spectral class

DOI: 10.51194/INASAN.2021.6.3.005

1. Введение

Учитывая огромный интерес к Марсу, особенно проявившийся в последнее время, отправки автоматических аппаратов, выведение на орбиту спутники Марса и пр., нужно иметь в виду, что окружение Марса составляет такой же объект интересов как и околоземные астероиды для Земли, метеорные потоки, болидные рои и т.п. Все эти объекты могут, с одной стороны, нанести значительный вред, как космическим аппаратам, так и будущим поселениям на Марсе. При этом близость Юпитера гораздо сильнее влияет на окружение Марса, чем Земли. А количество околомарсианских астероидов в несколько раз больше, чем околоземных. Это окружение Марса, может быть не так срочно и не так подробно, но все же нужно изучать. Тем более, что часть околомарсианских астероидов может быть источников необходимых полезных ископаемых. Использование многоцветной фотометрии астероидов, в том числе сближающихся с орбитой Земли и Марса является мощным инструментом массового получения физических характеристик. Тщательно калиброванные фотометры даже при использовании телескопов небольшой апертуры позволяют внести существенный вклад в получение достоверных данных о физических и минералогических особенностях исследуемых небесных тел, таких как астероиды сближающиеся с орбитой Марса. Это семейство астероидов по своим орбитам зачастую является близким к астероидам, сближающимся с Землей. В процессе эволюции орбит марс-кроссеров они могут переходить в семейство АСЗ и наоборот. Некоторые АСЗ являются одновременно и марс-кроссерами. За период наблюдений с 2010 г. на 1-м телескопе в Симеизе были выполнены наблюдения нескольких марс-кроссеров. Часть из этих наблюдений имеют достаточно протяженные ряды измерений, анализ которых мы представляем в данной статье. Методика проведения измерений и их анализа, которую мы применяем,

Таблица 1: Орбитальные элементы и известные физические параметры исследуемых астероидов, P — период вращения астероида.

астероид	e	a	q	i	Ω	ω	H	P, часы	d	albedo
313591	0.42	2.38	1.37	11.89	312.09	32.12	17.4	–	–	- -
32575	0.34	2.22	1.47	2.23	229.10	98.26	15.2	4.5344	2.157	0.325
8355	0.29	2.34	1.66	7.70	154.14	196.35	14.3	6.0677	3.874	0.277

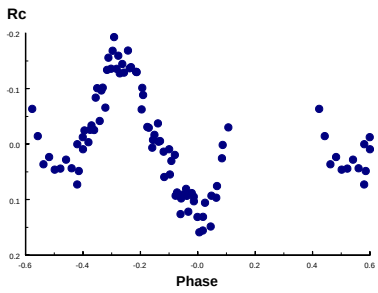


Рис. 1: Кривая блеска астероида 313591 в системе Rc.

описана вкратце в [1] и [2]. Для приведения к стандартной фотометрической системе мы используем коэффициенты редукции близкие к приводимым в [3]. Более точные значения коэффициентов и используемых методов редукции будут опубликованы позднее.

2. Результаты фотометрической обработки избранных астероидов

Астероид 313571 наблюдался в течение 3 ночей в августе 2014 г. Период вращения астероида был ранее не известен. Мы нашли значение периода $P = 0.33$ суток, см. рис. 1. Из имеющихся данных определить более точное значение периода невозможно, требуется более длительный наблюдательный ряд. Получены весьма точные значения показателей цвета астероида, соответствующие таксономическому классу Толлена «C», [4], см. рис. 2.

Астероид 32575 наблюдался в течение 2 ночей в августе 2014 г. Период вращения астероида был нами определен как $P = 0.1887$ суток, что полностью совпадает с предыдущими измерениями. Кривая блеска представлена на рис. 3. Из $BVRcIc$ фотометрии получено значение таксономического класса «Q», см. рис. 4.

Для астероида 8355 наблюдения проводились лишь в одну единственную ночь в течение 5 часов при известном периоде вращения порядка 6 часов, см. табл. 1. Полученная волна не противоречит указанному периоду, см. рис. 5. Получен таксономический класс «A».

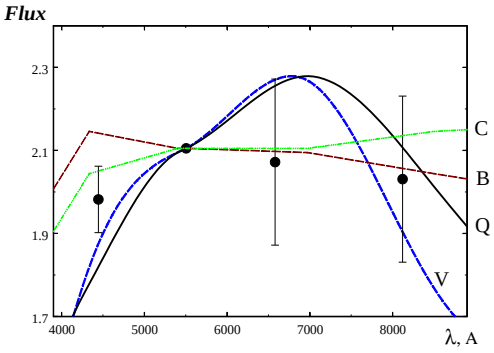


Рис. 2: Спектр астероида 313591, восстановленный из многоцветной фотометрии.

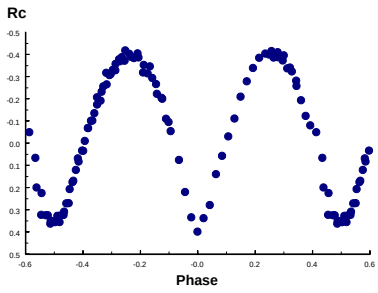


Рис. 3: Кривая блеска астероида 32575 в системе *Rc*.

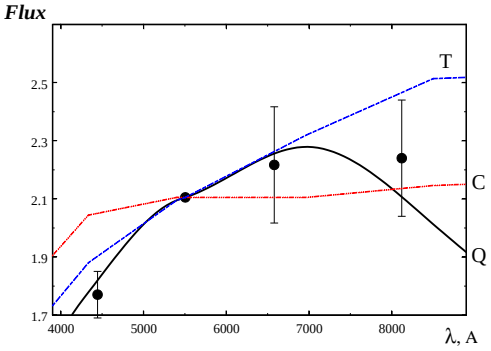


Рис. 4: Спектр астероида 32575, восстановленный из многоцветной фотометрии.

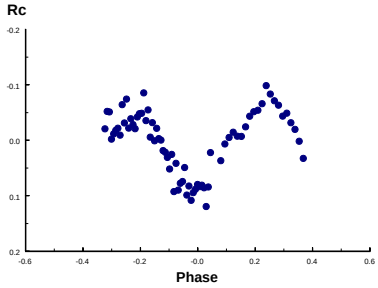


Рис. 5: Кривая блеска астероида 8355 в системе *Rc*.

5. Заключение

1. Выполнены наблюдения трех марс-кроссеров на 1-м телескопе в Симеизе. Три астероида до обработки наблюдательных данных имели известные абсолютную звездную величину, период вращения, альбедо, диаметр. Для этих астероидов были уточнены периоды вращения.
2. Для всех трех объектов получены показатели цвета и выполнены оценки таксономического класса.
3. Фотометрические наблюдения марс-кроссеров безусловно полезны и сами по себе, и учитывая особый интерес к Марсу, его окружению.
4. Несомненно целевые фотометрические наблюдения марс-кроссеров позволят определять их происхождение и эти наблюдения будут иметь не только научную, но и практическую ценность.

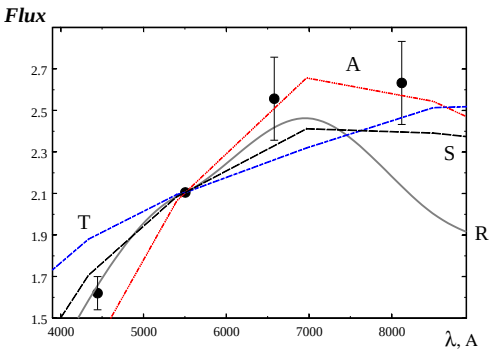


Рис. 6: Спектр астероида 8355, восстановленный из многоцветной фотометрии.

Список литературы

1. I. M. Volkov, S. I. Barabanov, I. V. Nikolenko, S. V. Kryuchkov, and A. V. Sergeev, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso*, **49**, 301, 2019.
2. S. I. Barabanov, I. M. Volkov, A. S. Kravtsova, I. V. Nikolenko, and S. V. Kryuchkov, *INASAN Science Reports*, **4**, 278, 2019.
3. M. A. Burlak, I. M. Volkov, and N. P. Ikonnikova, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso*, **48**, 536, 2018.
4. D. J. Tholen, in R. P. Binzel, T. Gehrels, and M. S. Matthews, eds., *Asteroids II*, 1139–1150 (1989).

Редуктор фокуса для телескопа Цейсс-1000 Симеизской группы Звенигородской обсерватории ИНАСАН

Барабанов С.И.[1], Потанин С.А.[2], Саввин А.Д.[2], Волков И.М.[1,2], Кравцова А.С.[1,2], Николенко И.В.[1]

[1] *Институт астрономии РАН, Москва, Россия*
[2] *Государственный астрономический институт им П.К. Штернберга, Москва, Россия*

Для увеличения функциональных возможностей Цейсс-1000 в Симеизе в 2020 г. в рамках развития приборной базы ИНАСАН было выпущено техническое задание на изготовление фокального редуктора телескопа для выполнения ряда задач поискового характера с возможностью первичной обработки (астрометрия и фотометрия). Задание включало требование увеличения поля зрения до 0.8° при использовании серийных ПЗС-камер с матрицами размером порядка 80 мм в диагонали для обеспечения максимально возможного покрытия небесной сферы без потери качества изображения. Был выполнен расчет оптимальной оптической схемы при помощи программы расчета ZEMAX и на базе оптического производства ГАИШ МГУ изготовлен редуктор фокуса. В статье приводятся результаты исследования нового редуктора с ПЗС-камерой FLI PL1608.

Ключевые слова: ПЗС-камера, фотометрическая система, метеорный поток, астероид

Focus reducer for the Zeiss-1000 telescope of the Simeiz group Zvenigorod Observatory INASAN

Barabanov S.I.[1], Potanin S.A.[2], Savvin A.D.[2], Volkov I.M.[1,2], Kravtsova A.S.[1,2], Nikolenko I.V.[1]

[1] *Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia*
[2] *Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia*

Within the framework of the development of the instrumental base of INASAN a technical assignment for the manufacture of a focal reducer was issued in 2020 in order to increase the functionality of Zeiss-1000 in Simeiz. The task included the requirement to increase the field of view to 0.8° when using serial CCD cameras about 80mm in diagonal to ensure maximum possible coverage of the celestial sphere without loss of images quality. The calculation of the optimal optical scheme was carried out with ZEMAX software and a focus reducer was manufactured on the basis of the optical production of the SAI MGU. The article presents the results of a study of a new reducer with CCD camera FLI PL1608.

Keywords: CCD, photometric system, meteor shower, asteroid

DOI: 10.51194/INASAN.2021.6.3.006

1. Введение

Любое расширение возможностей наблюдательной аппаратуры ведет к увеличению функциональных возможностей этой аппаратуры, а значит к качественному и количественному улучшению получаемых результатов. Метровый телескоп Цейсс-1000 был запущен в строй в 1990 г. [1]. С самого начала эксплуатации этого телескопа одной из основных задач являлась поисковая зада различных тел околоземного космического пространства. В первую на этом телескопе очередь выполнялись наблюдения ИСЗ различных классов, космический мусор. С 1994 г. на 1-м телескопе выполнялись поисковые наблюдения метеороидов метрового и декаметрового размеров. В качестве приемников изображения использовались ПЗС-камеры ST-6, ПГ-3, S1C, S3C и др. Все они обладали небольшими ПЗС-матрицами, которые сильно ограничивали поисковые возможности системы телескоп-приемник. Поле зрения при этом составляло всего несколько минут дуги. Нужно отметить, что, было сделано несколько попыток изготовления редукторов фокуса, кустарными методами с использованием уже имеющейся оптики. Самый «широкоугольный» трансфокатор с более-менее приемлемым качеством изображения был изготовлен Неяченко, Смирновым и Барабановым [2]. Поле хороших изображений для этого трансфокатора составило около 20′, а при использовании ПЗС-камеры ST-6 — $17.8' \times 13.3'$. Данная комбинация позволяла проводить измерения положений объектов до 19^{m}. Сам трансфокатор был громоздким, его вынос за крепежный фланец телескопа составлял около одного метра что требовало постоянного внимания из-за появившейся опасности контакта прибора с колонной телескопа. Сейчас стали доступны ПЗС-приемники бóльших линейных размеров для которых старый трансфокатор не мог уже обеспечить хорошие изображения по всему полю зрения. В какой-то период времени телескоп Цейсс-1000 оказался под юрисдикцией Украины, что сделало бессмысленной модернизацию телескопа. Выполнялись только техническая поддержка и эксплуатация инструмента по договору о научно-техническом сотрудничестве с КрАО, Украина. При этом средства вкладывались только со стороны ИНАСАН, а наблюдательное время делилось в равных долях.

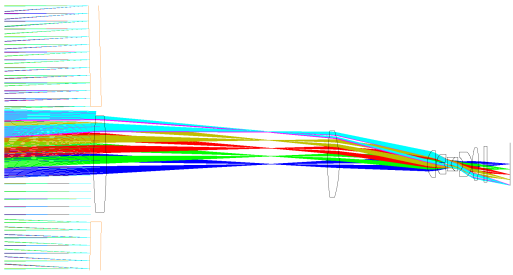


Рис. 1: Оптическая схема редуктора фокуса.

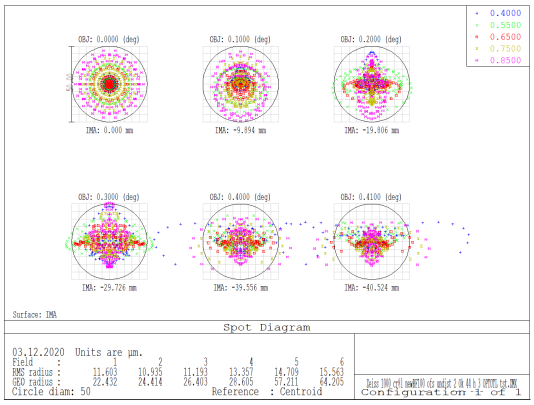


Рис. 2: Расчетные изображения. Диаметр круга 2″.

После возвращения телескопа под юрисдикцию России появилась перспектива оснащения телескопа новым современным оборудованием. Старые поисковые задачи остались актуальными, а также появились новые, для которых тоже требовалось максимально большое поля зрения, например:

1) Поиск тел размером более 1 м в избранных метеороидных потоках: Размер радианта метеорного потока может составлять десятки градусов. Для увеличения вероятности обнаружения тел метрового и декаметрового размеров в периоды активности отдельных (избранных) метеорных потоков, отобранных, как имеющих наибольшую вероятность обнаружения метеороидов с размерами больше 1 м, необходимо сканировать как можно большую область неба, из которой может прилететь крупный метеороид.

2) Задачи, связанные с поиском транзиентов (гамма всплески, гравволны, и др.) с возможностью получения предварительных фотометрических и астрометрических измерений.

3) Исследования протяженных объектов, проявляющих динамику развития в масштабах реального времени.

4) Поиск утерянных объектов: астероидов, комет и т.п.

5) Другие схожие задачи.

2. Описание оптической схемы и реализации нового фокального редуктора 1-м телескопа в Симеизе

Напомним основные характеристики оптической схемы телескопа Цейсс-1000:

- Оптическая схема: Ричи-Кретьен,
- Апертура: 1016 мм,
- Эквивалентный фокус системы Кассегрена: 12632 мм.

На телескопе регулярно используется только фокус Кассегрена, поэтому редуктор фокуса необходим именно для этой оптической системы. На рис. 1 показана оптическая схема фокального редуктора. Редуктор состоит из 6 одиночных линз + 1 дублет. Материалы: ЛЗОС, Кварц, CaF2 (флюорит), Schott.

Характеристики фокального редуктора:

- Эквивалентный фокус: 5700 мм
- Относительное отверстие: F/5.61
- Коэффициент редукции: 2.216
- Рабочий диапазон длин волн: 400–900 нм
- Поле зрения: 0.8° (⌀ 80 мм)

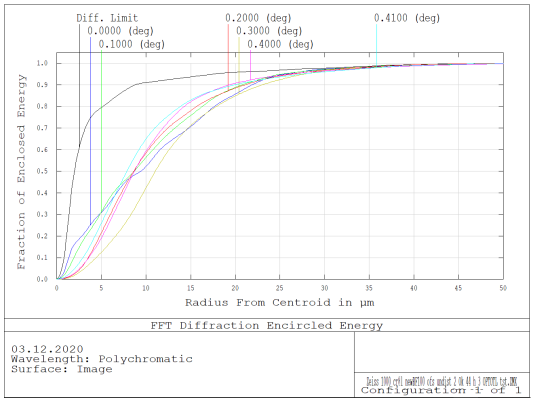


Рис. 3: Расчетная полихроматическая концентрация энергии для 80% — 1.3″, для 50% — 0.8″.

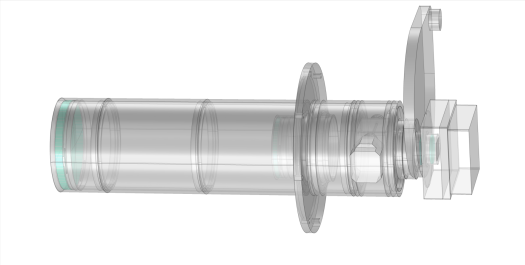


Рис. 4: Общий вид прибора.

- Качество изображений по всему полю не хуже 1.3″.

Исследование редуктора проводилось с использованием ПЗС-матрицы FLI ProLine 4096 × 4096 с диагональю 52 мм или 32″.

3. Исследование фотометрической системы нового редуктора

После изготовления и тестирования был проведены дополнительное тесты для исследований возможностей использования фокального редуктора для оценок блеска исследуемых объектов.

Для исследования инструментальной фотометрической системы был использован фотометрический стандарт для системы Джонсона-Кузинса, — рассеянное скопление M67. Мы использовали звездные величины приводимые в http://binaries.boulder.swri.edu/binaries/fields/m67.html. Данное скопление удобно тем, что имеет компактные размеры с достаточно сильно отличающимися по показателям цвета звездами. Поэтому для наблюдений системы даже на таком длиннофокусном инструменте как Цейсс-1000 ($F = 12.8$ м) в поле зрения используемой матрицы FLI размером $10' \times 10'$ попадает одновременно достаточное для определения системы количество звезд. Звезды скопления немного ярче, чем это нужно для того, чтобы не быть в передержке за время экспозиции, которое обеспечивает усреднение мерцания потока. По нашему опыту, для метрового телескопа это время составляет не менее 10 сек. Поэтому при измерениях в полосах $BVRcIc$ телескоп слегка расфокусировался. В каждой полосе делалось несколько экспозиций так, чтобы общее время

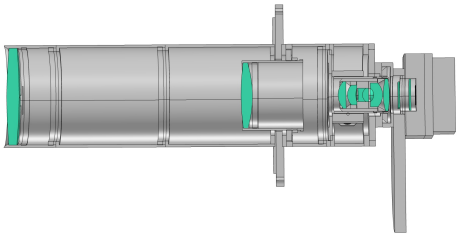


Рис. 5: Вид прибора в разрезе. Последняя группа линз расположена в подвижном фокусировочном узле.

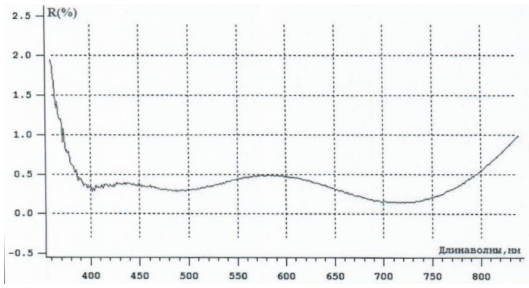


Рис. 6: График коэффициента отражения используемого просветляющего покрытия.

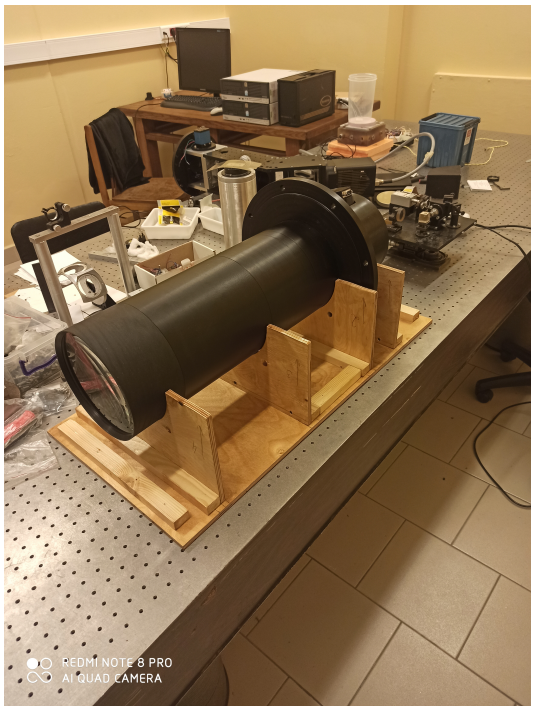


Рис. 7: Юстировка редуктора на оптической скамье.

экспонирования составляло не менее 30 секунд. При обработке все полученные в данной фотометрической полосе кадры складывались, звезды измерялись пакетом IRAF. Одной из звезд присваивались стандартные величины, ее показатель цвета обозначается в формулах ниже как $(B-V)_{\mathrm{standard}}$, величины других звезд определялись относительно этой звезды. Для наблюдений были выбраны безоблачные безлунные ночи. 18 ноября 2020 г. были проведены измерения в стандартной комплектации аппаратуры — телескоп+ПЗС-матрица, 13 апреля 2021 г. в приемном тракте дополнительно находился редуктор фокуса. Было интересно сравнить полученные результаты с тем, чтобы оценить насколько сильно изменяется фотометрическая система при использовании редуктора. Ниже приводятся результаты исследования. В левой колонке представлены графики разности стандартной и инструментальной систем в отсутствие редуктора, справа — при наличии редуктора. Фотометрические полосы расположены по порядку сверху вниз: U, B, V, Rc, Ic. Из графиков видно, что без редуктора инструментальная система близка к стандартной во всех полосах, кроме B. Тем не менее, даже в этой полосе возможен пересчет в стандартную систему по линейной формуле. Для полосы U наблюдается нелинейность, связанная с тем, что данная полоса приходится на область Бальмеровского скачка.

Привычка некоторых наблюдателей строить указанный график не от $B-V$, а от $U-B$ ошибочна. На графике представленном на рис. 12 мы видим, что большинство точек сосредоточено в облаке в левой части рисунка. Оно включает в себя звезды с показателями цвета $-0.1 < B-V < 0.35$, что соответствует спектральным классам B9-F5. Для всех этих звезд правильно пересчитать инструментальные величины в стандартные невозможно. Видно, что ошибка такого перехода может составить до 0.15^{m}. При наличии у объекта межзвездного поглощения, ситуация становится еще хуже, все покрасненные звезды имеющие

Рис. 8: Общий вид редуктора установленного на телескопе Цейсс-1000.

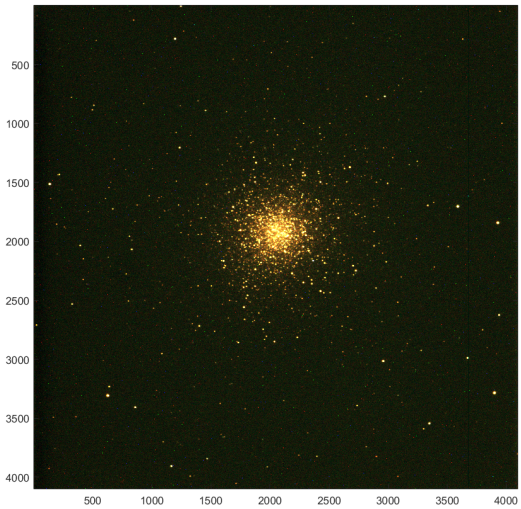


Рис. 9: Цветное изображение M13, полученное с новым редуктором путем сложения изображений в полосах $BVRc$. Избыточная краснота объясняется сильным ослаблением сигнала в полосе B.

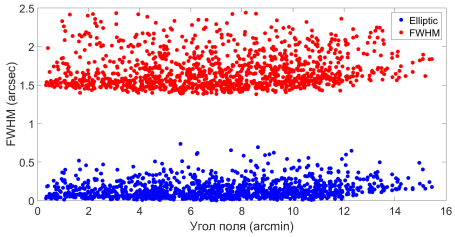


Рис. 10: Анализ полученных изображений.

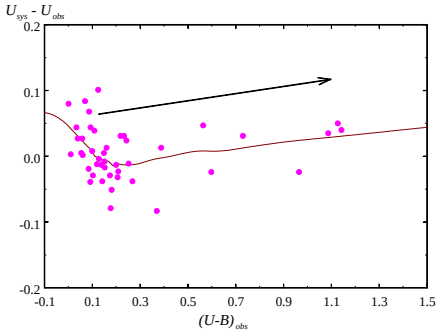


Рис. 11: Разность стандартной и инструментальной системы в зависимости от показателя цвета $U - B$. Стрелкой показано примерное направление линии межзвездного поглощения.

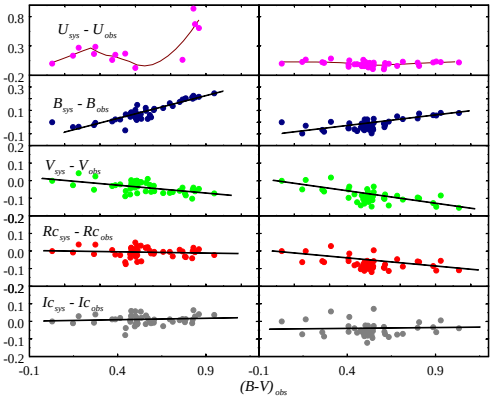


Рис. 12: Разности стандартных и инструментальных систем. Слева с редуктором, справа — без редуктора.

непокрасненный показатель цвета $U - B < 0.1$ будут исправлены за межзвездное поглощение с ошибкой в 0.1^{m}. в том смысле, что они сделаются более голубыми. Правильно пользоваться калибровочной кривой представленной на рис. 12. Но и в этом случае следует не забывать о межзвездном поглощении. При наблюдениях астероидов говорить о межзвездном поглощении, конечно, не имеет смысла. Но при определении звездных величин вторичных стандартов на кадре с астероидом о них забывать не стоит. Пример подобного неправильного перевода в стандартную систему можно видеть в табл. 1 из работы [3], где ошибка в показателе цвета $U - B$ составила 0.125^{m} в сторону его уменьшения.

Сравнение фотометрических систем с редуктором и без приводит к следующим заключениям:

1. При наличии редуктора наблюдения в полосе U невозможны. На снимках видны только самые яркие наиболее голубые звезды, которые ослаблены на несколько величин. График перехода представляет двуцветную диаграмму $U - B$, $B - V$, т.е. существенно нелинеен, отягощен значительными ошибками.
2. Полоса B сильно смещается в красную область, блеск звезд сильно ослаблен редуктором, но, при необходимости, наблюдения возможны.
3. Остальные полосы, $VRcIc$, смещаются редуктором в красную область, при этом полоса V становится даже ближе к стандартной. Полосы $RcIc$ смещаются незначительно. Наблюдения во всех этих полосах возможны без каких-либо потерь точности.

Уравнения для перехода в стандартную систему.

Без редуктора:

$$U_{\mathrm{John}} = U_{\mathrm{obs}} + 0.007 * \Delta(B - V)_{\mathrm{obs}}$$

$$B_{\mathrm{John}} = B_{\mathrm{obs}} + 0.181 * \Delta(B - V)_{\mathrm{obs}}$$

$$V_{\mathrm{John}} = V_{\mathrm{obs}} - 0.132 * \Delta(B - V)_{\mathrm{obs}}$$

$$Rc = Rc_{\mathrm{obs}} - 0.093 * \Delta(B - V)_{\mathrm{obs}}$$

$$Ic = Ic_{\mathrm{obs}} + 0.010 * \Delta(B - V)_{\mathrm{obs}}$$

С редуктором:

$$B_{\text{John}} = B_{\text{obs}} + 0.39 * \Delta(B-V)_{\text{obs}}$$
$$V_{\text{John}} = V_{\text{obs}} - 0.090 * \Delta(B-V)_{\text{obs}}$$
$$Rc = Rc_{\text{obs}} - 0.015 * \Delta(B-V)_{\text{obs}}$$
$$Ic = Ic_{\text{obs}} + 0.017 * \Delta(B-V)_{\text{obs}}$$

где

$$\Delta(B-V)_{\text{obs}} = (B-V)_{\text{obs}} - (B-V)_{standard}$$

4. Заключение

1. Изготовлен и испытан фокальный редуктор телескопа Цейсс-1000 в Симеизе для увеличения поля зрения телескопа с использованием ПЗС-матриц умеренного размера (до 80 мм в диагонали).
2. Для реализации качественного изображения по всему полю зрения была использована 7-линзовая схема с просветлением всех поверхностей. Суммарная потеря света за счет пропускания составляет примерно 8%, см. рис. 6.
3. Тестовые наблюдения в Симеизе показали хорошее соответствие расчетам — ошибка измерения положения составляет не более $0.2''$.
4. Также были выполнены оценки фотометрической системы фокального редуктора, которые показали возможность выполнять измерения блеска объектов в полосах V, Rc, Ic с точностью до 0.004^{m}.
5. Точные измерения в полосах U, B невозможны из-за малой прозрачности оптики редуктора в ближнем ультрафиолете.
6. Созданный фокальный редуктор может использоваться как штатный инструмент для установки современных систем регистрации изображений умеренных угловых размеров, с учетом полученных характеристик по астрометрии и фотометрии.

Список литературы

1. I. V. Nikolenko, S. V. Kryuchkov, S. I. Barabanov, and I. M. Volkov, *INASAN Science Reports*, **4**, 85, 2019.
2. M. A. Smirnov, S. I. Barabanov, S. V. Kryuchkov, A. D. Zenkovich, D. I. Neyachenko, I. V. Nikolenko, and N. M. Gaftonyuk, *In NEA Earth Astronomy of XXI century. Proceedings of Conference. Zvenigorod 2001, May 21-25*, 275–282, 2001.
3. I. M. Volkov and N. S. Volkova, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, **26**, 129, 2007.

Приложение

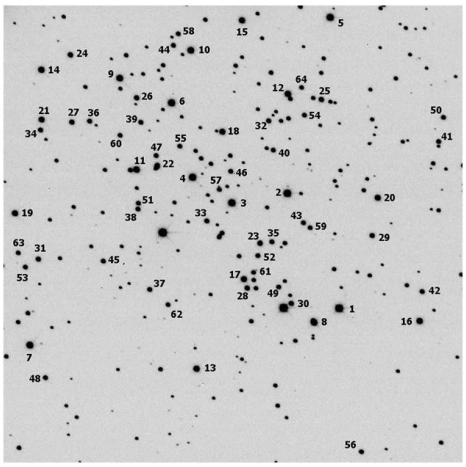


Рис. 13: Карта скопления M67 с указанием номеров звезд. Север вверху, восток слева.

Таблица 1: Звездные величины M67 в системе Джонсона-Кузинса. Нумерация звезд соответствует карте.

Номер	V	$B-V$	$U-B$	$V-Rc$	$Rc-Ic$
1	10.016	0.029	–0.472	–0.038	–0.031
2	10.289	1.266	1.358	0.663	0.562
3	10.453	1.109	1.018	0.568	0.498
4	10.489	0.576	0.051	0.340	0.327
5	10.526	1.094	1.000	0.564	0.489
6	10.534	1.123	1.043	0.583	0.513
7	10.762	1.137	1.103	0.578	0.528
8	10.899	0.436	0.062	0.268	0.252
9	10.927	0.243	0.112	0.142	0.154
10	10.946	0.097	0.073	0.044	0.056
11	11.063	0.221	0.131	0.116	0.127
12	11.132	1.090	0.968	0.573	0.499
13	11.262	0.130	0.082	0.048	0.070
14	11.267	1.076	0.962	0.571	0.508
15	11.306	0.607	0.146	0.359	0.335
16	11.313	0.292	0.121	0.163	0.162
17	11.427	1.074	0.960	0.560	0.492
18	11.485	0.885	0.519	0.488	0.440
19	11.494	1.052	0.901	0.554	0.499
20	11.544	0.406	–0.039	0.251	0.243
21	11.637	1.050	0.909	0.556	0.499
22	11.833	0.886	0.707	0.504	0.462
23	12.116	0.457	0.021	0.281	0.269
24	12.139	1.000	0.801	0.537	0.477
25	12.213	0.671	0.171	0.384	0.352
26	12.238	0.249	0.064	0.145	0.155
27	12.247	0.563	0.067	0.332	0.325
28	12.253	0.571	0.072	0.336	0.320
29	12.380	0.981	0.765	0.520	0.452
30	12.391	0.745	0.270	0.427	0.394
31	12.411	0.562	–0.060	0.342	0.353
32	12.538	0.587	0.078	0.349	0.324
33	12.540	0.590	0.100	0.347	0.334
34	12.561	0.579	0.078	0.344	0.339
35	12.580	0.781	0.294	0.462	0.419
36	12.589	0.581	0.102	0.348	0.332
37	12.622	0.569	0.050	0.335	0.334
38	12.629	0.613	0.123	0.357	0.347
39	12.633	0.582	0.100	0.343	0.328
40	12.640	0.606	0.119	0.355	0.325
42	12.652	0.612	0.133	0.353	0.324
41	12.653	0.618	0.125	0.355	0.322
43	12.665	0.502	0.033	0.298	0.275
44	12.672	0.667	0.190	0.387	0.358
45	12.683	0.694	0.197	0.396	0.380
46	12.691	0.558	0.041	0.330	0.317
47	12.692	0.588	0.105	0.348	0.334
48	12.707	0.571	0.050	0.329	0.330
49	12.724	0.560	0.066	0.332	0.312
50	12.731	0.737	0.279	0.420	0.366
51	12.752	0.818	0.422	0.450	0.413
52	12.761	0.554	0.054	0.327	0.316
53	12.772	0.742	0.282	0.408	0.392
54	12.790	0.560	0.078	0.331	0.310
55	12.796	0.461	–0.020	0.298	0.301
56	12.811	0.730	0.308	0.401	0.378
57	12.815	0.572	0.067	0.337	0.322
58	12.819	0.557	0.071	0.337	0.320
59	12.821	0.558	0.071	0.332	0.302
60	12.854	0.526	0.038	0.321	0.311
61	12.891	0.452	0.004	0.274	0.263
62	12.906	0.926	0.627	0.495	0.451
63	12.958	0.914	0.592	0.488	0.455
64	12.986	0.849	0.482	0.466	0.411
65	13.192	0.584	0.06	0.335	0.328
66	13.096	0.599	–	0.356	0.347
67	13.147	0.58	0.05	0.337	0.317
68	13.174	0.589	0.06	0.343	0.332
69	13.192	0.584	0.06	0.335	0.328
70	13.077	0.564	0.03	0.329	0.313

Содержание

Терентьева А.К., Барабанов С.И. Болидный рой метеорита Гланербруг. Список 14 метеоритообразующих болидных и метеороидных роев . . . 69
Буслаева А.И., Шмагин В.Е., Шугаров А.С. Управляемое предапертурное зеркало с областью наведения $50^\circ \times 120^\circ$ для 30 см телескопа космической системы обнаружения декаметровых астероидов (проект СОДА) . . . 74
Иосипенко С.В. Преимущества малых научных космических проектов . . . 82
Николенко И.В., Маслов И.А. Камера инфракрасного (теплового) диапазона для контроля состояния атмосферы над морским горизонтом Симеизской обсерватории ИНАСАН . . . 85
Барабанов С.И., Кравцова А.С., Волков И.М., Баканас Е.С. Наблюдения марс-кроссеров на 1-м телескопе Симеизской обсерватории ИНАСАН . . . 88
Барабанов С.И., Потанин С.А., Саввин А.Д., Волков И.М., Кравцова А.С., Николенко И.В. Редуктор фокуса для телескопа Цейсс-1000 Симеизской группы Звенигородской обсерватории ИНАСАН . . . 92

Contents

Terentjeva A.K., Barabanov S.I. Fireball stream of the Glanerbrug meteorite. List of the 14 meteorite-producing fireball and meteoroid streams . . . 69
Buslaeva A.I., Shmagin V.E., Shugarov A.S. Pre-aperture slewing mirror with pointing area of $50^\circ \times 120^\circ$ for 30 cm aperture telescope for the system of observation of day time asteroids (SODA project) . 74
Iosipenko S.V. Advantages of small scientific space projects . . . 82
Nikolenko I.V., Maslov I.A. Infrared (thermal) camera for monitoring the state of the atmosphere above the sea horizon of the Simeiz Observatory INASAN . . . 85
Barabanov S.I., Kravtsova A.S., Volkov I.M., Bakanas E.S. Observations of Mars-crossing asteroids with 1-m telescope of Simeiz Observatory of INASAN . . . 88
Barabanov S.I., Potanin S.A., Savvin A.D., Volkov I.M., Kravtsova A.S., Nikolenko I.V. Focus reducer for the Zeiss-1000 telescope of the Simeiz group Zvenigorod Observatory INASAN . . . 92