

HIERONIM HURNIK
HELENA BIENIEWSKA
EDWARD BUTKIEWICZ
KRYSTYNA KURZYŃSKA
BOŻENA MAJEWSKA

528.711.112

Analiza zasięgu i dokładności kamery AFU-75

Analizując publikowane wyniki obserwacji stacji, wyposażonych w kamery AFU-75, można wyciągnąć wnioski, dotyczące uzyskanych dokładności i zasięgu kamery. Pod *zasięgiem kamery* rozumiemy graniczną wielkość gwiazdową SSZ przy określonej szybkości kątowej jego ruchu.

Zgodnie z instrukcją obsługi kamery [1] powinna istnieć możliwość obserwacji obiektów o jasności do 12^m i o prędkościach kątowych $0,2^\circ/\text{sek} \leq v \leq 1^\circ/\text{sek}$, a dokładność wyznaczenia pozycji powinna być rzędu $2''$. Natomiast autorzy opracowań materiałów obserwacyjnych z różnych stacji podają mniej optymistyczne rezultaty. Jedynie stacja Użgorod podaje zasięg przy 30 sekundowej ekspozycji równy 12^m i dokładność wyznaczenia pozycji obiektu średnio około $2''$ [2], [9]. W pracy przeglądowej [3] o różnych kamerach do fotograficznych obserwacji sztucznych satelitów Ziemi autorzy podają zasięg kamery AFU-75 do 10 wielkości gwiazdowej. Z oceny kamery AFU-75, ustawionej na stacji Baja (Węgry) wynika, że przy zastosowaniu normalnie używanych filmów zasięg kamery wynosi $6,5 \div 7^m$, a realna dokładność wyznaczenia pozycji wynosi $3 \div 3,5''$ [6]. W Ulan Bator [8] przy czułości filmu 1300 GOST i czasie ekspozycji 1 minuta uzyskano zasięg kamery równy 11^m .

Z powyższego zestawienia widać, że zasięgi kamer były badane przy różnych czasach ekspozycji i zazwyczaj nie podawano czułości stosowanego filmu, istotnej dla uzyskanego zasięgu. Brak jest również informacji jaki wpływ na zmniejszenie zasięgu kamery ma praca mechanizmu kompensacyjnego, stosowanego przy obserwacjach słabych obiektów.

Publikacji, dotyczących wyników obserwacji słabych satelitów kamerą AFU-75, jest bardzo mało. Większość stacji publikowała dotychczas jedynie rezultaty obserwacji satelity Pageos, fotografowanego w systemie obserwacji jasnych obiektów. Z publikowanego zestawu obserwacji na stacji Użgorod [2] również widać, że liczba uzyskanych negatywów słabych satelitów, w stosunku do liczby obserwacji Pageosa, jest mała, mimo że obserwowano łącznie 13 słabych obiektów.

Oprócz kamery AFU-75 pracują między innymi takie kamery śledzące, jak SBG i Baker-Nunn. Z założeń konstrukcyjnych wynika, że kamera SBG powinna mieć zasięg do 12^m i dawać dokładność rzędu $1''$ [14], jednak dla niektórych egzemplarzy tej kamery, ze względu na duże błędy optyki, realna dokładność wynosi $4''$ [13], a oceniany zasięg przy śledzeniu do 10^m . Kamery Baker-Nunn sprawdziły się w kolejnych programach „Standart Earth”. Uzyskano dokładność rzędu $1,6 \div 2''$ [11] i dostateczną dla tego celu liczbę obserwacji słabych satelitów.

Dokładność rejestracji czasu dla wszystkich kamer śledzących ocenia się jako równą $0,001$ sek., mimo że różne są systemy rejestracji momentów czasu w tych kamerach.

Dla każdej kamery śledzącej podstawą do wykonania obserwacji jest efemeryda obserwowanego obiektu, dokładna zarówno pod względem położenia, jak i szybkości śledzenia. Oceniono, że wymagana dokładność efemerydy dla ustawienia trzeciej osi kamery AFU-75 jest $0,5^\circ$ [7]. Przy dopuszczeniu błędu ustawienia osi równego 1° , maksymalny kąt między chwilowym śladem satelity a kierunkiem ruchu kamery też jest równy 1° , a to przy kompensacji 3 mm daje wydłużenie obrazu o 52 mikrometry i przy kompensacji 6 mm wydłużenie o 104 mikrometry. Przy błędzie ustawienia $0,5^\circ$ wydłużenie będzie odpowiednio 26 i 52 mikrometry. Wobec tego, w normalnych roboczych warunkach, należałoby stosować 3 milimetrową długość odcinka kompensacji. Jak widać, nawet w tym wypadku, w krytycznych warunkach, obraz satelity może wydłużyć się o 100%.

Szybkość śledzenia za satelitą można otrzymać z dokładnością $0,0004^\circ/\text{sek}$ [12]. Jeżeli przyjąć średnicę obrazu satelity na negatywie równą około 50 mikrometrów (obraz poprawny, punktowy) i założyć, że wydłużenie obrazu może być większe maksymalnie o 50% tej wartości, to tablice 1 i 2 pozwalają ocenić przy jakich czasach śledzenia i jakim błędzie szybkości śledzenia obserwacje będą jeszcze wartościowe. Możliwość

Tablica 1

$t \backslash v$	3 sek	4 sek	5 sek	6 sek	7 sek	8 sek	9 sek	10 sek
0,1	6	9	11	13	15	17	19	22
0,2	13	17	22	26	30	35	39	43
0,3	19	26	32	39	45	52	58	65
0,4	26	35	43	52	60	69	78	86
0,5	32	43	54	65	76	86	97	108
0,6	39	52	65	78	91	104	117	130
0,7	45	60	76	91	106	121	136	151

otrzymania szybkości śledzenia z dokładnością $0,0004^\circ/\text{sek}$ z góry określa nam błąd rozmycia obrazu i dla wolnych obiektów wynosi on około $0,2\%$, a dla szybkich obiektów około $0,4\%$.

W tablicy 1 przyjęta szybkość satelity $v = 0,2^\circ/\text{sek}$. W tablicy 2 przyjęta szybkość satelity $v = 1^\circ/\text{sek}$. t — czas śledzenia; v — błąd szybkości kątowej podany w procentach. Wartości w tablicach podane są w mikrometrach.

Dla oceny możliwości fotografowania słabych obiektów kamerą AFU-75, ustawioną na stacji Instytutu Geodezji i Kartografii w Borowej Górze, wykonano 3 zdjęcia satelity Eksplorera 29 oraz zdjęcia gwiazd z czasami ekspozycji 1 sek, 3 sek, 10 sek. Ponadto wykonano zdjęcia Plejad w systemie obserwacji słabych satelitów, stosując szybkości śledzenia: $0,05^\circ/\text{sek}$, $0,1^\circ/\text{sek}$ i $0,2^\circ/\text{sek}$.

Tablica 2

$v \backslash t$	3 sek	4 sek	5 sek	6 sek	7 sek	8 sek	9 sek	10 sek
0,1	32	43	54	65	76	86	97	108
0,2	65	86	108	130	151	173	194	216
0,3	97	130	162	194	227	259	292	324
0,4	130	173	216	259	302	346	389	432
0,5	162	216	270	324	378	432	486	540
0,6	194	259	324	389	454	518	583	648

Rezultaty oceny zdjęć gwiazd, na dwóch różnych filmach, z czasami ekspozycji 1 sek, 3 sek i 10 sek, ilustrują tablice 3 i 4. Tablica 3 zawiera wyniki uzyskane na filmie 1-KX3-XII-74-6, typ 24, a tablica 4 — na filmie 7-KX3-VIII-74-6, typ 15.

W tablicach 3 i 4 podane są średnice śladów gwiazd (w mikrometrach) w zależności od ich wielkości gwiazdowej m i czasu ekspozycji t . Z tablic tych widać, że średnice obrazów jeszcze mierzalnych są w granicach $30 \div 50$ mikrometrów. Rozpatrując, że czas ekspozycji dla kompensacji 3 mm, przy szybkości śledzenia $0,1^\circ/\text{sek}$ jest równy około 0,3 sek, a przy szybkości śledzenia $0,2^\circ/\text{sek}$ wynosi 1,1 sek, wyprowadzono sumaryczną krzywą zależności jasności od czasu ekspozycji (rys. 1). Z rysunku 1 wynika, że dla czasu ekspozycji 0,3 sek realne jest uzyskanie obrazu obiektu, którego jasność odpowiada $4 \div 5$ wielkości gwiazdowej.

Równocześnie, na podstawie zdjęć Plejad, wykonanych z różnymi czasami śledzenia, można wnioskować, że obiekty, które przy określonej szybkości kątowej miałyby: przy $v = 0,05^\circ/\text{sek}$ — jasność do 7^m , przy $v = 0,1^\circ/\text{sek}$ — jasność do $5,5^m$ i przy $v = 0,2^\circ/\text{sek}$ — jasność do $4,5^m$, można byłoby fotografować w systemie Я.

Tablica 3

m \ t	t		
	1 sek	3 sek	10 sek
6,2	116	128	153
7,1	52	80	112
8,5		60	87
10,0		35	82

Tablica 4

m \ t	t		
	1 sek	3 sek	10 sek
6,1	60	77	100
7,1	32	36	65
8,1		28	63
9,0		37	56
10,6			28

Zdjęcia satelity Eksplorers 29 wykonane były przy kompensacji 3 mm na filmie o czułości 36 DIN i na wszystkich trzech zdjęciach jest po 12 mierzalnych obrazów satelity. Zdjęcia zostały dwukrotnie pomierzone i zredukowane metodą Turner'a z uwzględnieniem wyrazów drugiego rzędu.

$$\begin{aligned}\xi &= ax + by + c + mx^2 + pxy + ry^2, \\ \eta &= dx + ey + f + gx^2 + txy + sy^2.\end{aligned}\quad (1)$$

Na każdej kliszy wybrano 7 gwiazd odniesienia. Błędy średnie dla poszczególnych klisz podane są w tabelicy 5. Na kliszy nr 1 odrzucono w trak-

Tablica 5

Numer śladu	Klisza nr 1		Klisza nr 2		Klisza nr 3	
	ϵ_{ξ}	ϵ_{η}	ϵ_{ξ}	ϵ_{η}	ϵ_{ξ}	ϵ_{η}
1	$\pm 0,3''$	$\pm 1,3''$	$\pm 1,0''$	$\pm 3,0''$	$\pm 1,0''$	$\pm 1,0''$
2	0,8	1,7	2,8	2,8	0,6	0,6
3	0,6	0,4	3,3	2,0	1,2	0,5
4	1,7	0,6	2,6	2,3	2,4	0,9
5	1,7	0,2	3,0	1,6	2,0	0,3
6	—	—	2,1	1,6	1,5	0,3
7	4,1	0,4	4,4	0,4	0,6	1,1
8	1,6	1,5	5,3	0,3	0,0	0,5
9	0,6	1,1	0,6	2,2	0,1	0,1
10	0,2	0,5	1,0	4,7	1,2	0,4
11	—	—	2,1	3,5	0,7	0,1
12	0,3	2,3	2,1	1,2	0,6	0,5

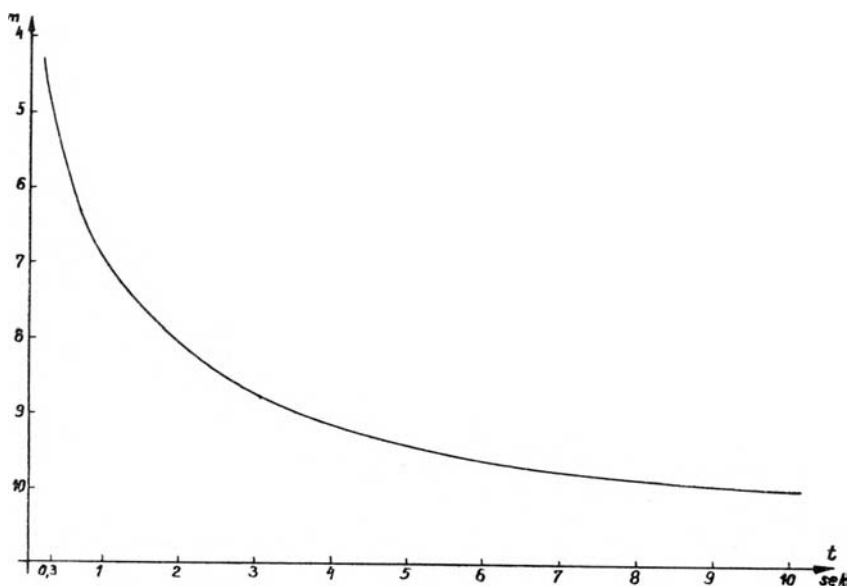
cie opracowania 6 i 11 ślad satelity, ze względu na wykryte błędne pomiary ich współrzędnych prostokątnych.

Błąd średni wyznaczono według wzoru

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{[(O-C)^2]}{n-m}},$$

gdzie: n — liczba gwiazd odniesienia, m — liczba niewiadomych, $O-C$ — różnica między wartością obserwowaną a wyrównaną.

Analizując wartości $O-C$ oraz ε można dojść do wniosku, że realne jest otrzymanie błędu średniego położenia obiektu w granicach $2''$, wyni-



Rys. 1

kającego z optyki kamery, bez uwzględnienia błędu rejestracji czasu. Oczywiście wskazane by było zwiększenie liczby gwiazd odniesienia przy opracowywaniu negatywów.

Dla oszacowania błędu czasu przeprowadzono wyrównanie dla wszystkich trzech zdjęć satelity. Wyrównanie położenia w czasie przeprowadzono w sposób nietypowy, to znaczy, zakładając poprawność rozkładu położenia obiektu na negatywie. Wyniki podane są w tabelicy 6.

Wyrównanie przeprowadzono krzywą drugiego stopnia:

$$t_i = Ax_i^2 + Bx_i + C. \quad (2)$$

Uzyskana wartość błędu jest duża i wskazuje na konieczność dodatkowego badania kamery w zakresie rejestracji czasu.

Podsumowując otrzymane rezultaty, można wyciągnąć wnioski ogólne, że uzyskanie zdjęć słabych obiektów kamerą AFU-75, na filmach o dużej czułości, jest realne. Dokładność położenia obiektów w czasie, przede wszystkim zależna będzie od dokładności zarejestrowanych wskazań fotochronografu.

Tablica 6

Kliska nr 1		Kliska nr 2		Kliska nr 3	
t_{sr}	$O-C$	t_{sr}	$O-C$	t_{sr}	$O-C$
4,197 ^s	+0,030 ^s	4,064 ^s	-0,027 ^s	4,307 ^s	+0,066 ^s
8,584	-0,045	6,568	+0,037	6,734	-0,002
10,754	-0,011	8,884	+0,019	9,245	-0,046
12,982	+0,013	11,230	-0,032	11,772	-0,068
15,142	-0,019	13,535	+0,003	14,267	-0,034
19,592	+0,013	15,887	+0,010	16,785	+0,002
21,775	+0,009	18,220	+0,002	19,300	+0,041
23,962	+0,015	20,546	-0,027	21,791	+0,038
26,157	+0,020	22,841	+0,004	24,303	+0,056
28,407	-0,035	25,180	+0,006	26,850	+0,015
		27,531	+0,015	29,469	-0,044
		29,880	-0,009	32,014	-0,024
$\epsilon = \pm 0,028^s$		$\epsilon = \pm 0,020^s$		$\epsilon = \pm 0,049^s$	

BIBLIOGRAFIA

- [1] Łapuszka K.K.: Sputnikowaja fotokamera AFU-75, Riga-Moskwa 1971 r.
- [2] Bratniczuk M.B. i drugije: O rezultatach astrometriczeskoj obrabotki negatiwow połączennych w kompensacjonnom rieżimie na kamierie AFU-75, Naucznyje informaczi, wypusk 28, Moskwa 1974 r.
- [3] Łoziński A.M., Masiewicz A.F.: Fotograficzeskije nabludienija iskusstwiennych sputnikow Ziemli, Naucznyje informaczi, wypusk 18, Moskwa 1970 r.
- [4] Łoziński A.M.: Ispolzowanije czasow TKN-33 dla kamier AFU-75, Naucznyje informaczi, wypusk 22, Moskwa 1972 r.
- [5] Łapuszka K.K.: Nowyje sowietskije fotokamery dla nabludienija iskusstwiennych sputnikow Ziemli, Nabludienija iskusstwiennych sputnikow Ziemli, nr 9, Warszawa 1970 r.
- [6] Mihoj C.: Rol kamier AFU-75 w mieżdunarodnych programach gieodieziczeskogo nabludienija ISZ, Nabludienija iskusstwiennych sputnikow Ziemli, nr 11, Berlin 1972 r.
- [7] Szkodrow B., Umljenski B.: O tocznosti efimierid dla nabludienij s kamieroj AFU-75, Nabludienija iskusstwiennych sputnikow Ziemli, nr 11, Berlin 1972 r.
- [8] Bohmier B., Riadna D.: Niekotoryje rezultaty issledowanija kamier AFU-75

в Улан-Батор, Наблюдения искусственных спутников Земли ,nr 10, Улан Батор 1970 г.

- [9] *Bratniczuk M.B., Kiripienko A.F.*: Czetyriechosnaja awtomaticzeskaja fotokamera ISZ, Наблюдения искусственных спутников Земли, nr 8, Будапешт 1969 г.
- [10] *Baker M.L., Makenson M.W.*: An introduction to Astronomics, New York, London 1967 г.
- [11] Smithsonian Standart Earth (III) ed. E.M.Gaposchkin, SAO Special Report No 353, 1973 г.
- [12] *Abele M., Biater J.*: Wyliczeniye efiemieryd ISZ dla ustanowok s czetyriechosnoy montirowkoj, Наблюдения искусственных спутников Земли, nr 14, Будапешт 1975 г.
- [13] *Karsky G., Kostelecky J., Skoupy V., Synek J.*: Research report VUGTK, No 511, Praha 1973 г.
- [14] *Sztejnbaach M.*: Nowyj tielieskop Zeissa 420/500/760 dla nabludienij sputnikow, Наблюдения искусственных спутников Земли, nr 3, Берлин 1965 г.

Recenzował doc. dr hab. inż. Janusz Sledziński

Rękopis złożono w Redakcji w lutym 1976 г.

ХЕРОНИМ ХУРНИК
ХЕЛЕНА БЕНЕВСКА
ЭДВАРД БУТКЕВИЧ
ХРЫСТЫНА КУЖИНЬСКА
ЕОЖЕНА МАЕВСКА

АНАЛИЗ ГРАНИЦЫ ДЕЙСТВИЯ И ТОЧНОСТИ КАМЕРЫ AFU-75

Резюме

В работе проведен обзор на основе литературы результатов наблюдений камерой (фотоустановкой) AFU-75. Приведены полученные результаты на разных станциях снабженных этими камерами.

Для сравнения приведены подобные данные, касающиеся камеры слежения SBG и камеры Вакер-Nunn.

Проанализировано полученные точности, граница действия и качество изображения спутника, принимая во внимание неточности эфемерид.

В экспериментальной части проверено границу действия камеры AFU-75, уставленной на станции в Боровой Гуре, и определено среднюю ошибку положения и ошибку времени. Среднюю ошибку положения оценено как равную 2", а ошибку времени 0,030 сек.

*HIERONIM HURNIK
HELENA BIENIEWSKA
EDWARD BUTKIEWICZ
KRYSTYNA KURZYŃSKA
BOŻENA MAJEWSKA*

ANALYSIS OF THE RANGE AND ACCURACY OF AFU-75 CAMERA

Summary

Literary survey of observation results by AFU-75 camera was done in this paper. Results obtained in different stations, equipped in the same camera have been mentioned here.

Similar data referring to SBG tracing camera and the Baker Nunn Camera are introduced for comparison.

Obtained accuracy, range of a camera and quality of satellite picture have been analysed, regarding also inaccuracy of ephemerides.

In the experimental section the range of the AFU-75 camera placed in the station at Borowa Góra was checked and approximate errors of position and time were determined. The mean square error of the position was specified as equal to 2", and the time errors as 0,030 second.