

EWA KAIRUNAJTYS

OCENA DOKŁADNOŚCI POMIARÓW
WYKONYWANYCH LUNETĄ AUTOKOLIMACYJNĄ

Streszczenie. Artykuł podaje opis badań przeprowadzonych w celu oceny dokładności pomiarów wykonywanych lunetą autokolimacyjną. Rezultaty kontrolnych obserwacji opracowano matematycznie, według metody najmniejszych kwadratów, przy zachowaniu elementarnych zasad oceny błędów pomiarowych.

Badania przeprowadzono na dwóch lunetach, wykonanych w Zakładzie Optyki Politechniki Wrocławskiej. W wyniku tych badań zweryfikowano niektóre określone przez producenta dane techniczne obu lunet, równocześnie ściślej określając dokładność ich pomiaru autokolimacyjnego.

1. Wstęp

Luneta autokolimacyjna (poz. 1 na rys. 2 i 3), której schemat optyczny i działanie opisano między innymi w pracach [4] oraz [8], służy do pomiaru małych zmian kątowych. Może być ona również wykorzystana do określenia deformacji kątowych modelu, używanych np. do laboratoryjnego badania układów statycznie niewyznaczalnych.

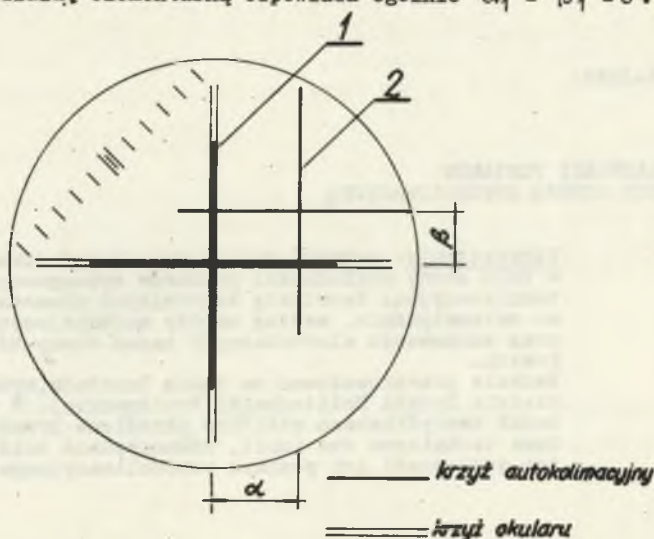
Przebieg pomiaru tych deformacji zależy od tego czy luneta zaopatrzona jest w okular z podziałką, czy też posiada okular mikrometryczny z ruchomym krzyżem.

W przypadku, gdy luneta posiada okular mikrometryczny, przebieg czynności wykonywanych w celu zmierzenia zmiany danego kąta przedstawia się następująco:

Na elemencie podlegającym deformacji należy umocować optycznie płaskie zwierciadło i prostopadle do niego usytuować lunetę, doprowadzając do pokrycia się obrazu krzyża autokolimacyjnego z krzyżem okularu. Widziany wówczas w lunecie obraz przedstawia sytuacja 1 na rys. 1.

Jeżeli w wyniku deformacji badanego elementu zwierciadło obróci się o pewien kąt φ , określony za pomocą dwu składowych α i β , to obraz krzyża autokolimacyjnego zmieni swoje położenie na tle krzyża okularu (sytuacja 2 na rysunku 1). Pokręcając śrubą mikrometryczną okularu doprowadza się do pokrycia kolejno pionowych i poziomych ramion krzyża okularu z odpowiednimi ramionami krzyża autokolimacyjnego. Przesuw śruby mikrometrycznej konieczny do pokrycia się za sobą poziomych ramion krzyży wyznacza wartość kąta β , natomiast przesuw tej śruby potrzebny do pokrycia się ramion pio-

nowych wyznacza wartość kąta α . Przesunięcie śruby mikrometrycznej okularu o jedną działkę elementarną odpowiada ogólnie $\alpha_1 = \beta_1 = \delta$.



Rys. 1

Luneta autokolimacyjna LA-3 (poz. 1 na rys. 2 i 3), wykonana przez Zakład Optyki Politechniki Wrocławskiej zaopatrzona jest w okular mikrometryczny, którego jedną z cech technicznych jest wielkość δ określona przez instrukcję [8] jako równa 1,4".

W trakcie przeprowadzonych badań na modelach wykonano przy pomocy tej lunety serię pomiarów. Przy sprawdzaniu rezultatów badań zauważono, że wyniki obciążone są pewnym stałym błędem. Pobieżna analiza błędów wykazała, iż ich wielkość zależna jest liniowo od wielkości zmian kątowych, mierzonych przy pomocy lunety. Można więc było przypuszczać, że wartość $\delta = 1,4''$, odpowiadająca jak już podano przesunięciu śruby mikrometrycznej okularu o jedną działkę elementarną, wyznaczona jest niewystarczająco dokładnie przy wymaganej dokładności badań modelowych.

Dążąc zatem do otrzymania możliwie największej dokładności pomiarów wyznaczono doświadczalnie wartość.

2. Opis pomiarów

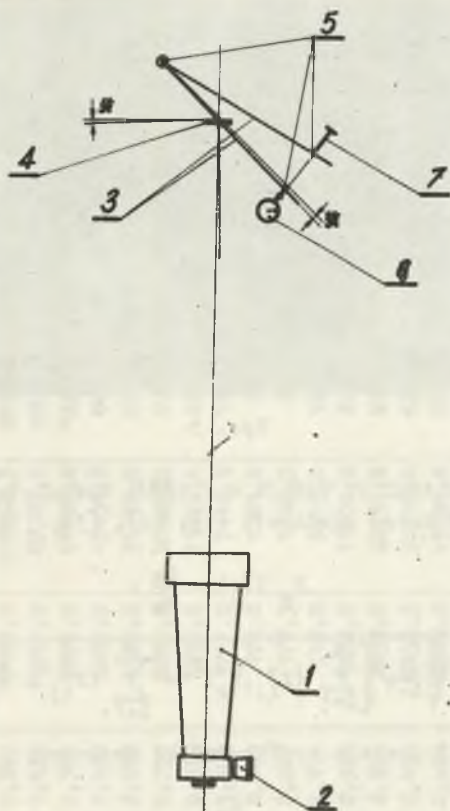
Wartości mierzonych lunetą autokolimacyjną kątów α_1 określa zgodnie z opisanym we wstępie sposobem poziaru następująca zależność:

$$\alpha_1 = \delta \cdot t_1 \quad (1)$$

lub oznaczając $\alpha_1 = y_1$, oraz $t_1 = x_1$

$$y_1 = \delta \cdot x_1, \quad (2)$$

gdzie $t_1 = x_1$ oznacza liczbę działek elementarnych na śrubie mikrometrycznej okularu.



Rys. 2

Gdyby pomiary wielkości y_1 oraz x_1 były przeprowadzone bez błędów, to do określenia δ wystarczyłby jeden pomiar. Ponieważ w rzeczywistości absolutnie dokładne pomiary są na ogół niemożliwe, przeto przeprowadzono większą liczbę pomiarów. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rys. 2, zaś pełny obraz tego stanowiska pokazano na fotografii (rys. 3).

Na mikrometrze okularu (poz. 2, rys. 2 i 3) dokładnie poziomo ustawionej lunety odczytywano wartości X_1' oraz X_1'' . Zestawione w kolumnie (3) tabl. I

wartości \bar{X}_1 obliczono jako średnie z pięciokrotnych ustaleń X_1^I i X_1^{II} , tzn. że dla $m = 5$

$$\bar{X}_1 = \bar{X}_1^{II} - \bar{X}_1^I = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (X_{1j}^{II} - X_{1j}^I). \quad (3)$$



Rys. 3

Kolumna (4) tejże tablicy podaje wielkości błędu standardowego S_m (\bar{X}_1) dla każdego \bar{X}_1 określonego zgodnie z [1], [2], [3], [5], [6] wzorem

$$S_m(\bar{X}_1) = \frac{S_m}{\sqrt{m}}, \quad (4)$$

gdzie

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{m-1} \left[\sum_{j=1}^m (X_{1j}^{II} - \bar{X}_1^{II})^2 + \sum_{j=1}^m (X_{1j}^I - \bar{X}_1^I)^2 \right]}$$

natomiast kolumny (5) zawiera współczynniki zmienności

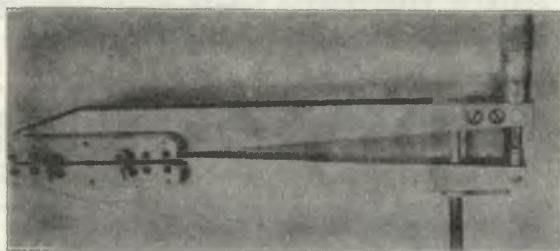
$$v_m = \frac{S_m}{\bar{X}_1} 100\%. \quad (5)$$

Dokładności ustaleń \bar{X}_1 nie jest idealna szczególnie dla małych wartości mierzonych kątów. Przyczyną tego stanu jest między innymi niewyraźny i o nierównym konturze obraz krzyża autokolimacyjnego badanej lunety.

Dla określenia wartości y_1 , odpowiadających ustaleniom \bar{X}_1 , użyto płaskiego deformatora kąтового [7] (rys. 4 oraz poz. 3 na rys. 2 i 3), którego cechy techniczne uprzednio sprawdzono. Jedno ramię deformatora unieruchomiono, drugie ramię natomiast mogło obracać się w płaszczyźnie poziomej.

Tablica 1

i	Δ_i	\bar{X}_i	$S_m(R_i)$	$V_m[\%]$	$\Delta_i \bar{X}_i$	\bar{X}_i^2	Δ_i^2	Y_{obs}	Y_{calc}	$Y_{obs} - Y_{calc}$	$(Y_{obs} - Y_{calc})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-60,0	-87,0	0,35	0,185	25620,0	182329,0	3600,0	618,79'	618,60'	-0,19	0,0361
2	-55,0	-99,9	0,44	0,237	21554,5	153585,6	3025,0	567,29'	567,75'	+0,52	0,2704
3	-50,0	-356,0	0,51	0,318	17800,0	126736,0	2500,0	515,66'	515,74'	+0,08	0,0064
4	-45,0	-321,5	0,56	0,397	14467,5	103362,3	2025,0	464,09'	465,76'	-0,33	0,1089
5	-40,0	-284,2	0,55	0,435	11368,0	80769,6	1600,0	412,53'	412,72'	+0,19	0,0361
6	-35,0	-248,4	0,56	0,504	8694,0	61702,6	1225,0	360,96'	359,86'	-1,10	1,2100
7	-30,0	-213,2	0,45	0,428	6396,0	45454,2	900,0	309,40'	308,86'	-0,54	0,2916
8	-25,0	-177,2	0,55	0,690	4430,0	31399,8	625,0	257,83'	258,71'	-0,12	0,0144
9	-20,0	-142,5	0,48	0,751	2850,0	20306,3	400,0	208,26'	206,44'	+0,18	0,0324
10	-15,0	-106,2	0,25	0,536	1593,0	11278,4	225,0	154,70'	153,85'	-0,85	0,7225
11	-10,0	-71,7	0,45	1,401	717,0	5140,9	100,0	103,13'	103,87'	+0,74	0,5476
12	-5,0	-35,8	0,39	2,467	179,0	1281,6	25,0	51,57'	51,86'	+0,29	0,0841
13	+5,0	+35,5	0,35	2,227	177,5	1260,3	25,0	51,57'	51,43'	-0,14	0,0196
14	+10,0	+71,0	0,35	1,114	710,0	5041,0	100,0	103,13'	102,86'	-0,27	0,0729
15	+15,0	+106,8	0,26	0,546	1602,0	11406,2	225,0	154,70'	154,72'	+0,02	0,0004
16	+20,0	+142,6	0,34	0,534	2852,0	20334,8	400,0	206,26'	206,59'	+0,33	0,1089
17	+25,0	+178,1	0,39	0,495	4452,5	31719,6	625,0	257,83'	258,01'	+0,18	0,0324
18	+30,0	+313,4	0,41	0,424	6402,0	45339,6	900,0	309,40'	309,15'	-0,25	0,0625
19	+35,0	+249,6	0,31	0,286	8736,0	62300,2	1225,0	360,96'	361,60'	+0,64	0,4196
20	+40,0	+284,4	0,37	0,293	11376,0	80883,4	1600,0	412,53'	412,01'	-0,52	0,2704
21	+45,0	+320,1	0,29	0,203	14404,5	102464,0	2025,0	464,09'	463,73'	-0,36	0,1296
22	+50,0	+356,2	0,29	0,243	17810,0	126878,4	2500,0	515,66'	516,05'	+0,37	0,1369
23	+55,0	+392,3	0,35	0,202	21376,5	153899,3	3025,0	567,29'	568,33'	+1,10	1,2100
24	+60,0	+426,6	0,30	0,156	25596,0	181987,6	3600,0	618,79'	618,08'	-0,75	0,5625
Σ	0	+1,0			231364,0	1647061,7	32500,0				6,4022



Rys. 4

Do ruchomego ramienia deformatora przytwierdzono (przyklepiono żywicą) wraz z podstawką optyczne płaskie zwierciadło (poz. 4 rys. 2 i 3). Wartości kątów obrotu ruchomego ramienia deformatora równe wartościom y_1 , ustalono mierząc mikrometrem (poz. 7 rys. 2) rozwarcie jego ramion Δ_1 , przy czym według [7] oraz wykonanego sprawdzenia

$$y_1 = \frac{\Delta_1}{200} \quad (6)$$

Każdy pomiar Δ_1 kontrolowano trzema mikroskopami (poz. 5 rys. 2 i 3) i jednym czujnikiem zegarowym (poz. 6 rys. 2 i 3). Przy pięciokrotnych ($m=5$) odczytach określonej wartości Δ_1 otrzymano identyczne wyniki na wszystkich przyrządach pomiarowych. W ten sposób zmierzono $n=24$ różne wartości Δ_1 ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), obejmując prawie całkowite pole obserwacji lunety (kolumna 2 tabl. I).

Zgodnie z metodą najmniejszych kwadratów [1], [2] ustalono wartość δ jako spełniającą równanie:

$$\delta \sum_{i=1}^n \bar{X}_1^2 = \sum_{i=1}^n \bar{X}_0 y_1 \quad (7)$$

skąd

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_1 y_1}{\sum_{i=1}^n \bar{X}_1^2} = \frac{[\bar{X}_1 y_1]}{[\bar{X}_1^2]} \quad (8)$$

Wyrażając y_1 w sekundach z (6) i (8) otrzymano:

$$\delta \approx 10,31 \frac{[\bar{X}_1 \Delta_1]}{\bar{X}_1^2} \quad (9)$$

Wyniki obliczeń przejściowych podano w tabl. I. Podstawiając sumy kolumn (7) i (6) tej tablicy do wzoru 9 obliczono:

$$\delta \approx 1,4487.$$

W kolumnach (9), (10), (11), (12), tabl. I wpisano wartości obliczone na podstawie wzoru (2), gdzie $\delta = 1,4487$, I_{obs} otrzymane na podstawie obserwacji, odchylenia y_{obl} od wartości zaobserwowanych oraz kwadraty tych odchyleń. Dane te pozwalają na wyznaczenie sumy kwadratów tych odchyleń jako:

$$\sum_{i=1}^n (y_{\text{obl}} - y_{\text{obs}})^2 = 6,4022.$$

Dla innych wartości δ suma ta będzie miała większą wartość, niż w przypadku opisanym. Można również zauważyć (kolumna (12) tabl. I), że rozrzut odchyleń nie zaprzecza zależności (1) i (2).

Kąt określony jedną elementarną działką mikrometru okularu badanej lunety równy jest więc $\delta = 1,4487''$, a nie jak podano w instrukcji [8] $1,4''$. Określając więc lunetą autokolimacyjną kąty jako równe $\alpha_i = 1,4 \cdot t_i$ popełnia się stały błąd równowarty $3,48\%$ mierzonej wartości.

W dalszej kolejności dokonano oceny punktowej \bar{y}_k dla $X_k = 0,100, 200, 300, 400$ oraz 500 niewystępujących wśród danych próby, tj. wśród danych, na podstawie których określono wartość δ . Utworzono przedziały ufności dla poszczególnych ocen \bar{y}_k w oparciu o test t studenta przy $n-1=23$ stopniach swobody i dla poziomów ufności $1-\alpha$ podanych w tabl. II.

Tablica II

X_k	\bar{y}_k	$\pm \Delta y_k$ dla różnych poziomów $1-\alpha$				
		0,999	0,999	0,95	0,90	0,70
0,0	0,0	5,39"	3,78"	2,79"	2,31"	1,43"
100,0	144,87"	5,80"	4,08"	4,08"	3,01"	1,54"
200,0	289,74"	6,76"	4,76"	3,51"	2,91"	1,80"
300,0	434,61"	8,16"	5,75"	4,24"	3,51"	2,17"
400,0	579,48"	9,77"	6,88"	5,07"	4,20"	2,60"
500,0	724,35"	11,52"	8,13"	5,99"	4,96"	3,07"
600,0	869,22"	13,40"	9,45"	6,97"	5,77"	3,57"

Ocenę \bar{S} określono na podstawie wzoru:

$$\bar{S} = S_y \sqrt{\frac{1-r_{xy}^2}{n-1} \left\{ 1 + \frac{(x_k - \bar{X})^2}{S_x^2} \right\}}. \quad (10)$$

W oparciu o dane tabl. I otrzymano:

$$\begin{aligned} [\bar{x}_i] &= +1, \quad \bar{x} = \frac{[\bar{x}_i]}{n} = 0, \quad [y_i] = 0, \quad \bar{y} = 0 \\ [\bar{x}_i^2] &= 1647061,7, \quad [y_i^2] = (10,31)^2 (32500,0) = 3454623,25, \\ [\bar{x}_i y_i] &= (10,31) (231364,0) = 2385362,84. \end{aligned}$$

Zatem

$$s_x^2 = \frac{1}{n} \left([\bar{x}_i^2] - \frac{[\bar{x}_i]^2}{n} \right) = \frac{1}{24} 1647061,7 = 68627,57,$$

$$s_y^2 = \frac{1}{n} \left([y_i^2] - \frac{[y_i]^2}{n} \right) = \frac{1}{24} 3454623,25 = 143985,71,$$

$$r_{xy} = \frac{[\bar{x}_i y_i] - \frac{1}{n} [\bar{x}_i][y_i]}{n s_x s_y} = 0,9998551$$

$$r_{xy}^2 = 0,999855$$

Wyniki ocen punktowych \tilde{y}_k ocen dokładności dla różnych poziomów ufności podaje tabl. II.

Podane w tejże tablicy wartości upoważniają do zakwestionowania podanej w instrukcji [8] dokładności pomiaru autokolimacyjnego, określonej jako równa 4". Dokładność pomiaru autokolimacyjnego równa 4" sugeruje, że przy pomiarach dowolnych wartości kątowych, nawet maksymalnych, wynoszących 2', 59,63" (a nie 25' jak podano w [8]), wielkość błędu nie przekroczy 4". Tymczasem wielkość błędu zależy od wielkości mierzonych kątów (jak również od korzystnego lub niekorzystnego dla odczytu, położenia krzyża autokolimacyjnego w polu widzenia) oraz od poziomu ufności $1-\alpha$, i tak np. dla $\tilde{y}_k = 144,87''$ przy $1-\alpha = 0,99$ $\Delta\tilde{y}_k = \pm 4,08''$, a dla $\tilde{y}_k = 289,74''$ przy tymże $1-\alpha = 0,99$ $\Delta\tilde{y}_k = \pm 4,76''$ w obu przypadkach większe od 4".

Podobnie wyznaczono wartości δ drugiej lunety autokolimacyjnej, również wykonanej przez Zakład Optyki Politechniki Wrocławskiej, posiadającej te same fabryczne dane techniczne co poprzednia.

Tym razem wykonano $n=13$ pomiarów różnych wartości kątów, również obejmujących prawie całkowite pole obserwacji lunety (por. tabl. III), poczynając od największego lewego przesunięcia krzyża autokolimacyjnego w polu widzenia lunety, a następnie przesuując krzyż do prawego końcowego położenia i na odwrót.

Wartości \bar{x}_i podane w tabl. III ustalono jako średnie z pięciokrotnych odczytów otrzymując większą niż poprzednio dokładność ustaleń \bar{x}_i .

Tablica III

i	Δ_1	\bar{X}_1	$s_m(\bar{X}_1)$	$v_n [\%]$	$\Delta_1 \bar{X}_1$	\bar{X}_1^2	Δ_1^2	y_{obl}	$y_{obs.}$	$y_{obl.} - y_{obs.}$	$(y_{obl.} - y_{obs.})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	10,0	71,1	0,19	0,589	5055,21	100,0	103,13	103,34"	103,34"	+0,21	0,0441
2	20,0	141,8	0,26	0,402	2336,0	20107,24	400,0	206,26"	206,10"	-0,16	0,0256
3	20,0	212,7	0,26	0,268	6381,0	45241,29	900,0	309,40"	309,15"	-0,25	0,0625
4	40,0	283,7	0,20	0,158	11348,0	80485,69	1600,0	412,53"	412,35"	-0,18	0,0324
5	50,0	354,9	0,19	0,118	17745,0	125954,01	2500,0	515,66"	515,84"	+0,18	0,0324
6	60,0	426,2	0,20	0,105	25572,0	181646,44	3600,0	618,79"	619,79"	+0,68	0,4624
7	70,0	496,9	0,19	0,084	34783,0	246909,61	4900,0	721,93"	722,23"	+0,30	0,0900
8	80,0	568,0	0,16	0,062	45440,0	322624,00	6400,0	825,06"	825,58"	+0,52	0,2704
9	90,0	638,0	0,21	0,073	57492,0	408065,44	8100,0	928,19"	928,48"	+0,29	0,0841
10	100,0	709,0	0,24	0,077	70960,0	503532,16	10000,0	1031,32"	1031,38"	+0,06	0,0036
11	11,0	780,4	0,29	0,084	85844,0	609024,16	12100,0	1134,46"	1134,28"	-0,18	0,0324
12	120,0	851,2	0,32	0,083	102144,0	724541,44	14400,0	1237,19"	1237,19"	-0,40	0,1600
13	130,0	922,1	0,58	0,119	119873,0	850268,41	16900,0	1340,72"	1340,24"	-0,48	0,2304
Σ	910,0	6457,4			581129,0	4123455,10	81900,0				1,5303

Krzyż autokolimacyjny tej lunety miał wyraźny i równy kontur. Doprowadzenie do pokrycia ramion krzyży przy każdorazowym odczycie było znaczne łatwiejsze, a więc i dokładniejsze. Potwierdzają to dane umieszczone w kolumnach (4) i (5) tabl.III.

Na podstawie pomiarów i pośrednich obliczeń wyznaczono:

$$\delta \approx 1,4535$$

oraz

$$[(y_{\text{obl}} - y_{\text{obs}})^2] = 1,5303$$

jak również

$$\frac{2}{xy} \approx 0,9999986.$$

Oceny punktowe \tilde{y}_k , oceny przedziałów ufności dla poszczególnych \tilde{y}_k przy różnych poziomach ufności $1-\alpha$, określono i tym razem w oparciu o test t studenta przy wykorzystaniu wzoru (10). Wartości tych ocen podaje tabl.IV.

Tablica IV

x_k	\tilde{y}_k	$\pm \Delta \tilde{y}_k$ dla różnych poziomów $1-\alpha$				
		0,999	0,999	0,95	0,90	0,70
0,0	0,0	2,44"	1,82"	1,34"	1,10"	0,672"
100,0	145,35"	2,11"	1,62"	1,16"	0,95"	0,57"
200,0	290,70"	1,77"	1,36"	0,97"	0,79"	0,48"
300,0	436,05"	1,46"	1,12"	0,80"	0,65"	0,40"
400,0	581,40"	1,24"	0,96"	0,68"	0,56"	0,34"
500,0	726,75"	1,17"	0,90"	0,64"	0,52"	0,31"
600,0	872,10"	1,226"	0,97"	0,69"	0,56"	0,34"
700,0	1017,45"	1,47"	1,13"	0,81"	0,66"	0,40"
800,0	1162,80"	1,78"	1,37"	0,98"	0,80"	0,49"
900,0	1308,15"	2,11"	1,64"	1,16"	0,96"	0,58"
1000,0	1453,50"	2,51"	1,93"	1,38"	1,13"	0,68"

Dokładność pomiarów wykonanych drugą lunetą określa błąd przy poziomie ufności $1-\alpha = 0,99$ rzeczywiście nie przekraczający 4". Wartość kąta odpowiadająca jednej elementarnej działce mikrometru okularu jest jednakże dla tej lunety równa $\delta = 1,4535"$, a nie jak podaje instrukcja [8] $\delta = 1,4"$, co prowadzi do przyjmowania w obliczeniach $\delta = 1,4000"$.

Największy kąt pomiaru tej lunety wynosi $I_{\max} = 25^{\circ}21,78''$, podczas gdy instrukcja określa go jako równy 25, co oczywiście nie zmniejsza sprawności lunety.

3. Wnioski

Powyższe obliczenia i poprzedzające je pomiary są potwierdzeniem tego, że każdy przyrząd pomiarowy, a szczególnie przyrząd stosowany do pomiarów małych wielkości przy wymaganej dużej dokładności, wymaga indywidualnego wycechowania, np. na podstawie pomiarów korekcyjnych.

Dane znamionowe, identyczne dla wszystkich tego samego typu, lecz pojedynczo wykonanych przyrządów, jak to ma miejsce w przypadku produkowanych przez Zakład Optyki Politechniki Wrocławskiej lunet autokolimacyjnych, mogą mieć charakter jedynie orientacyjny.

Opisane w niniejszym artykule pomiary umożliwiły ściślejsze sprecyzowanie niektórych danych technicznych dwóch lunet autokolimacyjnych. Kąty mierzone pierwszą z badanych lunet mimo weryfikacji jej cech znamionowych obarczone mogą być zbyt dużym błędem (por. tabl. II) jak na pomiary precyzyjne, do których luneta ta jest przewidziana. Przed wykorzystaniem tej lunety zgodnie z jej przeznaczeniem wymaga ona "remontu".

Artykuł powyższy można również traktować jako wskazówkę w postępowaniu mającym na celu weryfikację danych technicznych także innych aparatów pomiarowych.

LITERATURA

- [1] S. GUTER, B.W. OWCZYNSKI - "Matematyczne opracowanie wyników doświadczeń", PWN - Warszawa - 1967 r.
- [2] J.W. LINNIK. - "Metoda najmniejszych kwadratów i teoria opracowywania obserwacji". PWN - Warszawa - 1962 r.
- [3] L. PISZ - "Statystyka matematyczna", PWN - Warszawa - 1967 r.
- [4] T. KOLENDOWICZ - "Statyka modelowa w przestrzennych układach prętowych. Praca doktorska niepublikowana.
- [5] N.W. SMIRNOW - Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych". PWN - Warszawa - 1966 r.
- [6] N.Z. ZAJDEL. - "Elementarna ocena błędów pomiarowych". PWN - Warszawa - 1967 r.
- [7] K. SCHAECHTERLE - "Verfahren zur Ermittlung von statisch unbestimmten Grossen und deren Einflusslinien an Modellen". Bautechnik - zesz.27. 1933 r.
- [8] Zakład Optyki Politechniki Wrocławskiej - Instrukcja obsługi lunety autokolimacyjnej LA-3.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫПОЛНЕННЫХ АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫМ ТЕЛЕСКОПОМ

Резюме

В статье описаны испытания проведенные для оценки точности измерений исполненных при помощи автоколлимационного телескопа. Результаты контрольных наблюдений разработано согласно методу наименьших квадратов при сохранении основных принципов оценки измеренных ошибок.

В итоге этих экспериментов исправлено некоторые технические особенности двух телескопов.

EVALUATION OF THE ACCURACY OF MEASUREMENTS CARRIED OUT WITH A SELF - COLLIMATING TELESCOPE

Summary

The paper gives a description of experiments aimed at the estimation of the accuracy of measurements carried out with a self - collimating telescope. The results of the check observations were mathematically worked up according to the least square method with observance of the basic principles of estimation of measuring errors. As a result of the experiments some technical data stated by the producer for two instruments were verified.

Złożono w redakcji w czerwcu 1968 r.