

Badanie podziału koła poziomego oraz stałości położenia osi pionowej teodolitu precyzyjnego Zeiss Theo 010

Wprowadzenie

W roku bieżącym zostały po raz pierwszy sprowadzone do kraju najnowszej konstrukcji teodolity Theo 010 firmy Carl Zeiss-Jena, które zastosowano przy dogęszczaniu osnowy triangulacyjnej oraz przy poligonizacji precyzyjnej. Nie znane są jeszcze wyniki tych pomiarów i ocena nowych instrumentów w warunkach pracy terenowej. Pełna ocena powinna być oparta jednak nie tylko na wynikach prac polowych lecz również na rezultatach badań laboratoryjnych. Uzyska się w ten sposób możliwość wnikliwszej analizy błędów instrumentalnych i błędów samej obserwacji. Teodolit Theo 010 jest instrumentem szczególnie interesującym ze względu na zastosowaną w nim, po raz pierwszy w tej klasie teodolitów, niełamaną lunetę zwierciadlano-soczewkową. Lunety tego typu mają oczywiście zalety optyczne w porównaniu z lunetami soczewkowymi. Jest istotne, czy równolegle do tych zalet zabezpieczona została dokładność innych zasadniczych elementów konstrukcyjnych instrumentu.

Laboratoryjne badanie tego teodolitu zostało podjęte w Instytucie Geodezji i Kartografii. Program badania ograniczono do dwóch istotnych tematów: wyznaczenia błędów podziału koła oraz zbadania stałości położenia osi pionowej teodolitu. Założeniem badania było, z jednej strony, wyznaczenie tych błędów instrumentalnych, których częściowo przypadkowy charakter może w praktyce powodować obniżenie dokładności pomiaru nawet przy jego uwielokrotnieniu. Z drugiej strony, chodziło o praktyczne sprawdzenie proponowanej przez autora metody wyznaczania średniego przypadkowego błędu podziału koła z pomiaru interwałów kątowych, zawartych pomiędzy kreskami tworzącymi podwójną kreskę podziału.

Ogólna charakterystyka teodolitu Theo 010

W oznaczaniu poszczególnych typów instrumentów produkowanych przez wytwórnię Carl Zeiss-Jena przyjęta jest następująca zasada: Skrót słowny oznacza rodzaj instrumentu (Theo-Theodolit). Oznaczenie „010”

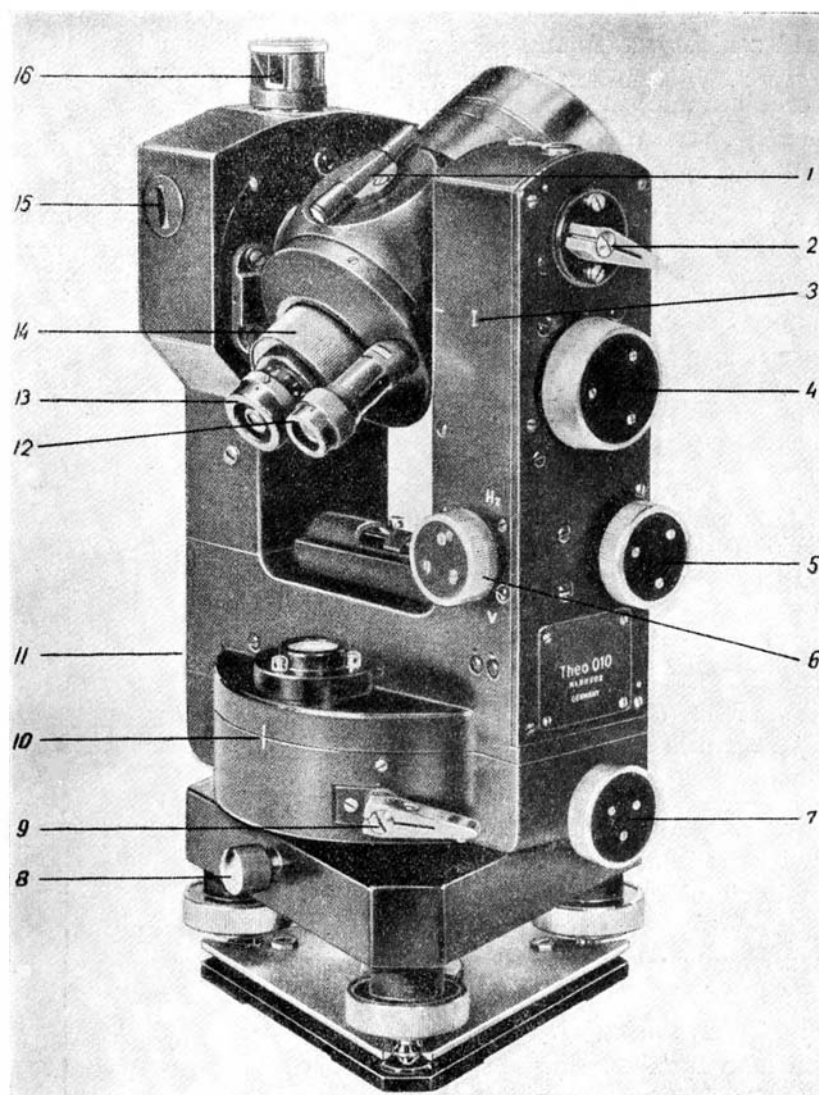
określa rząd wychylenia poprzecznego w mm/km, odpowiadającego średniemu błędowi jednokrotnego pomiaru kierunku przy dwóch położeniach lunety. W danym instrumencie błąd ten wynosi 10 mm/1km*.

Teodolit Theo 010 charakteryzują następujące dane techniczne:

Luneta	— powiększenie	31×
	— czynna średnica obiektywu	53 mm
	— pole widzenia	1,2°
	— najkrótsza celowa	2 m
	— najdłuższa celowa (łata z podziałem centymetrowym):	
	przy odczytywaniu z dokł. $\pm 0,5$ cm	500 m
	przy odczytywaniu z dokł. $\pm 0,5$ mm	120 m
	— stała mnożna dalmierza kreskowego	100
	— długość lunety	135 mm
Libele	— przewaga libeli głównej	20''/2 mm
	— przewaga libeli koła pionowego	20''/2 mm
	— przewaga libeli okrągłej	8''/2 mm
	— przewaga libeli niwelacyjnej	30''/2 mm
	— przewaga libeli nasadkowej	10''/2 mm
	— przewaga libeli Talcotta	10''/2 mm
Koła	— średnica koła poziomego	84 mm
	— średnica koła pionowego	60 mm
	— najmniejszy interwał podziału kół	20' (20')
	— wartość kątowna 1 dz. mikrometru	2 ^{cc} (1'')
	— całkowite powiększenie układu odczytowego:	
	koła poziomego	43×
	koła pionowego	60×
Pion		
optyczny	— pole widzenia	6°
	— powiększenie	2,5×
	— najkrótsza celowa	0,5 m
Ciężar	— instrument	5,3 kg
	— drewniana skrzynka	5,0 kg
	— statyw, typ 3v	5,6 kg

Ogólny widok instrumentu z charakterystycznie krótką lunetą ilustruje rys. 40. Konstrukcja instrumentu ma przemyślane i wygodne rozmie-

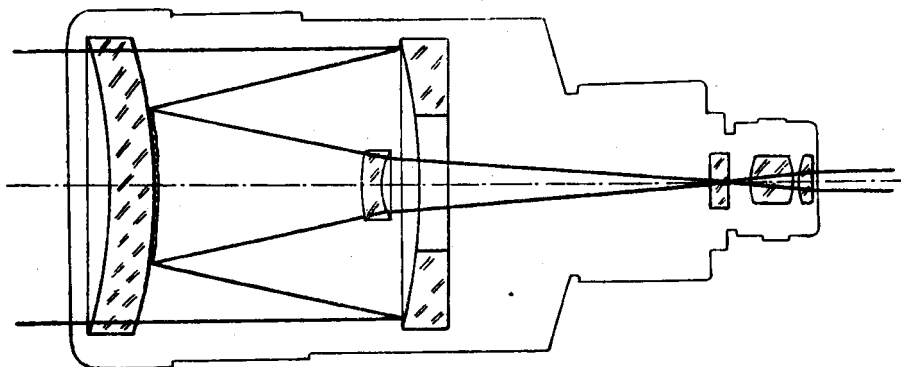
* Analogicznie w teodolicie Theo 030 błąd ten wynosi 30 mm/1 km. W odniesieniu do tachymetrów (Ta), jako charakterystykę dokładności instrumentu podaje się średni błąd pomiaru optycznego odległości w cm/100 m, podając dodatkowo w oznaczeniu słownym typ tachymetru (na przykład Dahlta 020, gdzie „Dahl“ jest nazwiskiem norweskiego inżyniera geodety). Przy oznaczaniu niwelatorów (Ni) wytwórnia Zeiss-Jena podaje, jako charakterystykę klasy instrumentu, średni błąd dwukrotnej niwelacji wyrażony w 0,1 mm/1 km.



Rys. 40. Ogólny widok teodolitu Theo 010: 1 — kolimator-celownik, 2 — pokrętka śruby zaciskowej koła pionowego, 3 — oznaczenie I-go położenia koła (koło lewe), 4 — pokrętka mikrometru optycznego, 5 — śruba naprowadzająca koła pionowego, 6 — pokrętka pryzmatu, kierującego obraz koła poziomego lub pionowego do mikroskopu odczytowego, 7 — śruba naprowadzająca koła poziomego, 8 — śruba sprzęgająca spódarkę z czopem instrumentu, 9 — pokrętka śruby zaciskowej koła poziomego, 10 — kreski kontrolne do właściwego montowania instrumentu przy konserwacji osi pionowej, 11 — libela okrągła, 12 — okular mikroskopu odczytowego, 13 — okular lunety, 14 — pierścień ogniskujący lunety, 15 — osłona śrubek rektyfikacyjnych libeli koła pionowego, 16 — układ pryzmatów odczytowych libeli koła pionowego

szczenie wszystkich urządzeń nastawczych i pomiarowych. Teodolit ten posiada szczelną obudowę, chroniącą poszczególne jego elementy zarówno przed zanieczyszczeniem, jak i wszelkimi szkodliwymi wpływami zewnętrznymi. W tym też celu również i libela koła pionowego została wbudowana w wspornik osi poziomej.

Najbardziej interesującą pod względem konstrukcji częścią instrumentu jest luneta. Optyka jej oparta jest zasadniczo na układzie Cassegraina (1672) r.). Główne wewnętrzne zwierciadło skupiające w przyjętym rozwiązaniu zostało przeborowane i umieszczono przed nim wewnętrzną soczewkę ogniskującą układu teleskopowego (rys. 41). Z istotnych zalet nowej lunety Zeissa należy wymienić:



Rys. 41. Schemat układu optycznego nowej lunety zwierciadlano-soczewkowej Zeissa-Jena

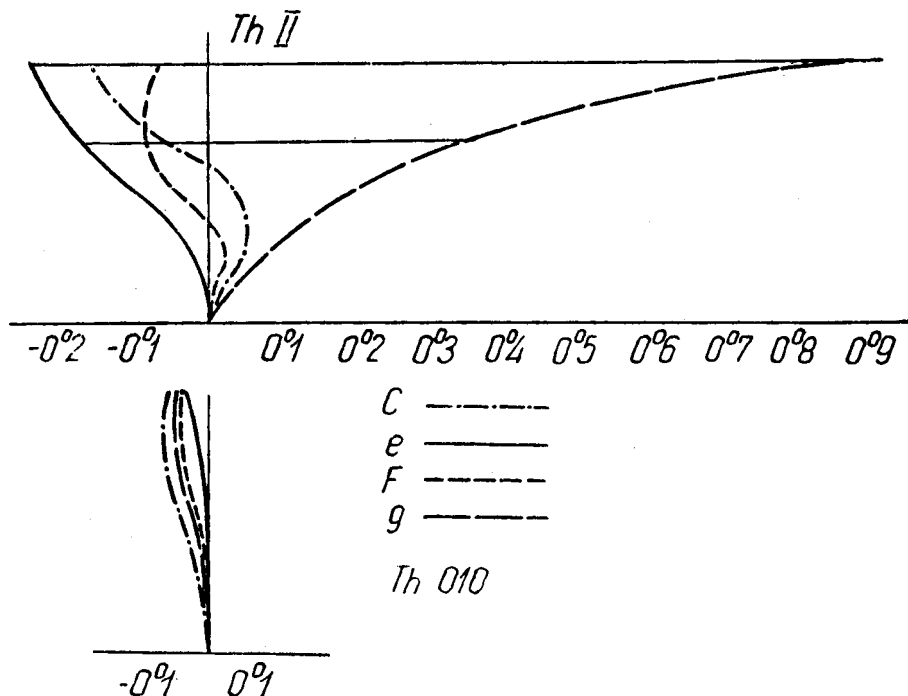
- podwyższenie zdolności rozdzielczej lunety i jej jasności, a tym samym powiększenie zasięgu lunety,
- uzyskanie układu aplanatycznego o doskonałej korekcji aberracji chromatycznej (prawie zupełnie wyeliminowano wtórne widmo) przy jednoczesnym znakomitym skróceniu lunety (długość 135 mm). Osiągniętą korekcję aberracji, w porównaniu z lunetą soczewkową teodolitu Zeiss Th II, ilustruje rys. 42.

Omawiana luneta była przedmiotem badań, przeprowadzonych w Instytucie Geodezyjnym przy Wyższej Szkole Technicznej w Dreźnie [1]. Wyniki tego badania w zakresie zdolności rozdzielczej (ϵ) nowej lunety teodolitu Theo 010, w porównaniu z innymi instrumentami, zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Instrument	ϵ	Wskaźnik	Uwagi
Zeiss Theo 010	$\pm 0,60''$	1,00	Instr. fabrycznie nowy
Zeiss Th II	0,78	1,30	Instr. używany
VEB Freib. PM Th 2	0,80	1,33	Instr. fabrycznie nowy
Wichmann Th 40	0,90	1,50	Instr. używany
Wild T 2	1,28	2,13	Instr. używany (stary typ)

Równie charakterystyczna jest zależność, zachodząca pomiędzy średnim błędem jednokrotnie wyznaczonego kierunku a jasnością celu. W warunkach laboratoryjnych, zmieniając jasność oświetlenia celu mierzoną



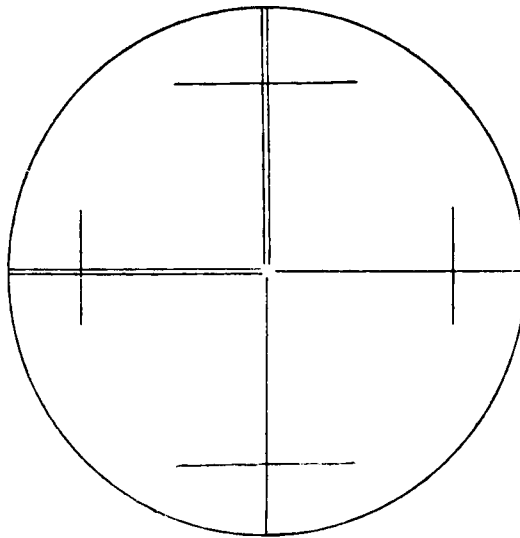
Rys. 42. Porównanie korekcji aberracji chromaticznej w lunecie Zeiss Th II i Theo 010: dla światła czerwonego — linia Fraunhofera C (długość fal 656 mμ), dla światła zielonego — linia Fraunhofera e (długość fal 546 mμ), dla światła niebieskiego — linia Fraunhofera F (długość fal 486 mμ), dla światła fioletowego — linia Fraunhofera g (długość fal 436 mμ)

przy pomocy galwanometru, uzyskano w wymienionym Instytucie dla tych samych instrumentów wyniki zestawione w tablicy 2.

Tablica 2

Wskazania galwanometru (w luxach)	Średni błąd jednokrotnie wyznaczonego kierunku			
	Theo 010	Th 2	Th 40	T 2
5,0	± 1,7 ^{cc}	± 1,4 ^{cc}	± 1,4 ^{cc}	± 2,1 ^{cc}
3,2	0,7	1,6	1,6	2,1
2,4	1,5	1,8	1,8	3,3
1,5	2,5	2,2	3,7	3,2
0,8	2,5	2,2	1,8	3,8
0,4	3,3	2,9	7,9	15,2

Krzyż kresek lunety Theo 010 odznacza się wyjątkowo czytelnym rysunkiem kreski i pozwala na jednakowo dokładne celowanie, zarówno przy pomiarze kątów poziomych, jak i pionowych. Dwie pary kresek dalmierczych (rys. 43) umożliwiają optyczny pomiar odległości przy poziomo lub pionowo ustawionej lacie. Krzyż kresek może być oświetlony przy jednoczesnej możliwości regulowania jasności obrazu tych kresek.



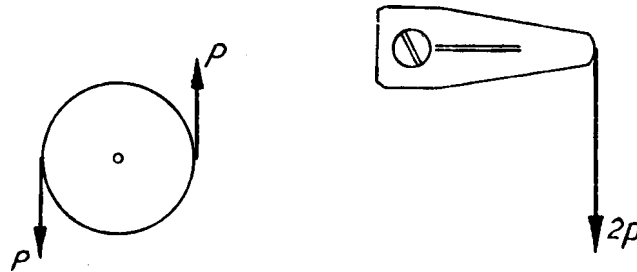
Rys. 43. Rysunek krzyża kresek

Luneta jest wyposażona w pryzmaty okularowe oraz w okulary łamane, pozwalające na prowadzenie obserwacji przy pochyłych celowych, aż do zenitalnego położenia osi celowej. Na lunecie zmontowany jest wygodny w użyciu i dający stosunkowo dużą dokładność celowania kolimator-celownik. Ponadto na specjalnej podstawie może być montowana na lunecie libela niwelacyjna.

Zasadniczy korpus lunety wykonany jest ze stali. Zabezpiecza to w znacznym stopniu niezmiennie wzajemne położenie poszczególnych części optycznych lunety przy ewentualnych zmianach temperatury. W połączeniu z rozwiązaniem układu optycznego, uzyskano w omawianej lunecie wyjątkowe warunki, gwarantujące niezmiennie położenie osi celowej przy zmianach ogniskowania.

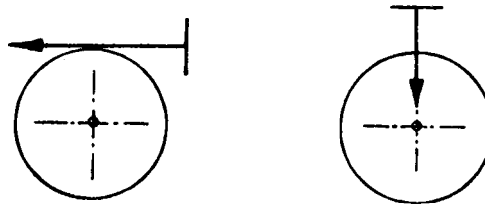
Następnym elementem konstrukcyjnym, zasługującym na podkreślenie, jest mechanizm śrub zaciskowych i naprowadzających. Normalne pokrętki śrub zaciskowych zostały w teodolicie Theo 010, podobnie jak w innych instrumentach geodezyjnych produkowanych przez Zakłady Zeissa w Jenie, zastąpione pokrętkami typu dźwigniowego. W instrumentach o tej dokładności nie jest to, zdaniem moim, rozwiązanie najwłaś-

ciwsze. Zastąpienie pary sił skracających (rys. 44) równoważnym im naciskiem na pokrętkę dźwigniową wywołuje bowiem szkodliwe i niepotrzebne reakcje. Stwierdzenie to znajduje pełne uzasadnienie w wynikach badania. Natomiast w sposób udany rozwiązany został mechanizm śrub



Rys. 44. Porównanie działania siły skracającej przy pokrętce kołowej i pokrętce dźwigniowej

naprowadzających śruby mikrometrycznej libeli koła pionowego. Działają one mianowicie centrycznie w kierunku do pionowej osi instrumentu, w przeciwieństwie do powszechnie stosowanych śrub tangencyjnych. Eliminuje się w ten sposób możliwość występowania siły skracającej, wywołanej naciskiem ręki (rys. 45). Rozwiązanie to stwarza więc warunki lepszej stabilności instrumentu.



Rys. 45. Porównanie działania normalnych śrub naprowadzających z rozwiązaniem zastosowanym w Theo 010

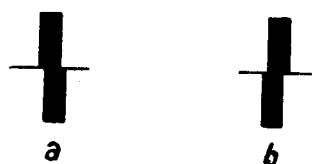
Rozmieszczenie wszystkich pokrętek jest dobrze uporządkowane i bardzo wygodne. W porównaniu z odpowiadającym temu teodolitowi starym typem Zeiss Th II, pokrętka mikrometru optycznego posiada lepiej dobrane wymiary: mniejsza średnica i większa szerokość.

Układ osi pionowej jest typu ślizgowego z podparciem osi alidady na łożysku kulkowym. Mechanizm ten, dokładność jego obróbki mechanicznej i termicznej, jakość zastosowanych materiałów i smaru dają dużą dokładność stałości położenia osi pionowej instrumentu. Stwierdzenie to znajduje pełne pokrycie w wynikach omówionego dalej badania.

Na uwagę zasługuje również podział kół. Zastosowano szeroką kreskę o głębokiej czerni. Podnosi to znacznie czytelność podziału. Oba koła posiadają podział dwukreskowy, przy tym kreski lewe i prawe nacinane są przy dwóch różnych położeniach kręgu w stosunku do stołu maszyny podziałowej. Położenia te są tak dobierane, aby w maksymalnym stopniu podział dwukreskowy eliminował wpływ systematycznych błędów maszyny podziałowej na dokładność podziału koła. Krąg koła pionowego jest

barwiony na jasny kolor zielony, wykluczający omyłkę przy odczytywaniu kierunków na kole poziomym lub pionowym.

Konstrukcja mikrometru optycznego w teodolicie Theo 010 wyklucza powstawanie błędów odczytu, spowodowanych martwym ruchem podziałki mikrometru. Pomimo tego, niektórzy fachowcy zalecają dokonywanie odczytów jako średniej z parzystej ilości nastawień, w tym połowa przy obrocie pokrętki mikrometru „w prawo”, a połowa „w lewo”. Eliminuje się w ten sposób błąd nastawienia odczytu spowodowany błędem osobowym (rys. 46). Wydaje się jednak, że przestrzeganie zasady jedno-



Rys. 46. Występowanie błędu osobowego przy koincencyjnym nastawianiu odczytów: a — przy obrocie pokrętki w prawo, b — odwrotnie

kierunkowego obrotu pokrętki mikrometru, przy poszczególnych nastawieniach odczytu, jest znacznie wygodniejsze, przy tym gwarantuje co najmniej tę samą dokładność nastawienia odczytu, przy typie mikrometru zastosowanym w teodolicie Theo 010.

Podziałka mikrometru przedłużona jest w obie strony poza zakres mierniczy mikrometru — po 3 działki. Umożliwia to z jednej strony wykonywanie jednakowo dokładnych nastawień odczytu w pobliżu zerowej i n -tej kreski podziałki mikrometru, z drugiej strony ułatwia

badanie mikrometru, na przykład przy wyznaczaniu wielkości runu. Rozdzielczy układ pryzmatów optycznego systemu odczytowego daje wyraźny rozdział obrazów przeciwległych sobie kresk podziału koła.

Instrument wyposażony jest w pion optyczny, wbudowany w górną część teodolitu. Pozwala to na szybkie sprawdzenie pionu. Niestety konstrukcja pionu nie przewiduje możliwości jego rektyfikacji w warunkach polowych. Zestrojenie (justowanie) pionu optycznego może być przeprowadzone w warunkach laboratoryjno-warsztatowych i to przez odpowiednio kwalifikowanego pracownika, przy zachowaniu niezbędnej czystości i ostrożności.

Czop układu osi pionowej jest znormalizowany. Umożliwia to wykorzystywanie instrumentu przy metodzie trzech (i więcej) statywów, tj. przy automatycznym centrowaniu teodolitu.

I. BADANIE PODZIAŁU KOŁA POZIOMEGO

Zgodnie z założeniem badania, szczególną uwagę poświęcono błędom przypadkowym podziału koła. Na skutek przyczyn działających przy nanoszeniu podziału kół na kręgach, całkowity błąd każdej kreski podzielić można na dwie składowe:

m_s — część systematyczną błędu podziału, oraz

m_p — część przypadkową, tj.

$$\tau_k = m_s + m_p, \quad (1)$$

gdzie τ_k oznacza średni całkowity błąd kreski podziału. Zależność ta jest wykorzystywana we wszystkich metodach badania kół przy układaniu programów obserwacji i opracowywaniu wyników badania.

Koło poziome teodolitu Theo 010 Nr fabr. 103589 zostało zbadane dwoma metodami:

— metodą różnicową, polegającą na określeniu średniego błędu przypadkowego kreski podziału z wielokrotnego pomiaru najmniejszych interwałów podziału koła, oraz w celu kontroli

— metodą Heuvelinka*, pozwalającą na wyznaczenie nie tylko średniego błędu m_p lecz również rzędu wielkości błędów systematycznych.

1. *Metoda różnicowa.* Proponowana przez autora metoda różnicowa została przyjęta w programie badania z następujących względów. Ogranicza ona czynność obserwatora wyłącznie do nastawiania i wykonywania odczytów. W ten sposób wyniki badania wolne są od szeregu błędów instrumentalnych oraz błędów celowania, pomijając znaczne skrócenie czasu obserwacji.

Metoda różnicowa opiera się na założeniu, że sąsiednie kreski podziału koła obarczone są błędami systematycznymi tego samego rzędu. Mierzac więc przy pomocy mikrometru optycznego interwał kątowy Δu , zawarty pomiędzy parą dowolnych sąsiednich kresek podziału, błędy systematyczne tych kresek zniosą się zgodnie z wzorem

$$\Delta u = p - l, \quad (2)$$

gdzie p i l — odczyty wykonane dla prawej i lewej kreski podziału, ograniczających badany interwał Δu . Na skutek błędów przypadkowych poszczególnych kresek, otrzymamy zamiast wielkości Δu :

$$\Delta u_i = \Delta u - v_i. \quad (3)$$

Mierzac na różnych miejscach podziału kąt Δu_i , można określić z tych obserwacji wielkość $\Delta u_{sr} \cong \Delta u$ i dla każdego pomierzonego interwału napisać równanie:

$$\Delta u_i = (p + d_i^p) - (l + d_i^l) = \Delta u - v_i.$$

Stąd, zgodnie ze wzorem (2):

$$v_i = d_i^l - d_i^p, \quad (4)$$

gdzie d_i — błędy przypadkowe kresek podziału. Można więc twierdzić, że różnice $(\Delta u_{sr} - \Delta u_i) = v_i$ charakteryzować będą łączny wpływ błędów przypadkowych obu kresek p i l na kątową dokładność badanego interwału Δu . Średni przypadkowy błąd pary tych kresek określić można z wzoru:

$$m_{2k} = \pm \sqrt{\frac{[(\Delta u_{sr} - \Delta u_i)^2]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}, \quad (5)$$

gdzie $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

* Heuvelink — uczony holenderski. Metodę badania podziału kół opublikował w roku 1913 [2] [3].

Istotą proponowanej metody jest uproszczenie badania przez przyjęcie jako interwału Δu odległości kątowej, zawartej pomiędzy kreskami tworzącymi podwójną kreskę podziału (wartość kątowa około $2,2^\circ$). Przy badaniu teodolitu Theo 010 uproszczenie to mogło mieć miejsce z uwagi na wspomnianą już metodę oddzielnego nacinania każdej pojedynczej kreski podziału. Przy takim założeniu, podany przez autora wzór określa więc średni przypadkowy błąd podwójnej kreski podziału.

Błąd kreski średnicowej będzie równy:

$$m_{4k} = \pm \frac{m_{2k}}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

W metodzie tej, przez przyjęcie interwału Δu jak wyżej, uzyskano dalsze znaczne skrócenie czasu obserwacji i zmniejszenie wpływu ewentualnych błędów samego mikrometru.

Badanie przeprowadzono w czterech seriach, mierząc w każdej z nich interwały Δu czterokrotnie w odstępach co 20° w zakresie pełnego obrotu, przesuwając wzajemnie poszczególne serie co 5° :

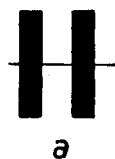
1-sza seria: $0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, \dots, 380^\circ$,

2-ga seria: $10^\circ, 30^\circ, 50^\circ, \dots, 390^\circ$,

3-cia seria: $5^\circ, 25^\circ, 45^\circ, \dots, 385^\circ$,

4-ta seria: $15^\circ, 35^\circ, 55^\circ, \dots, 395^\circ$.

Sposób nastawiania odczytów na lewą i prawą kreskę mierzonego kąta Δu wyjaśnia rys. 47. Przestrzegając zasady jednokierunkowego obrotu pokrętki mikrometru przy poszczególnych nastawieniach odczytu, najmniej męczącego obserwatora, przyjęto następującą kolejność koincydencji:



a



b

kreska 1, 2, 7, 8

kreska prawa 3, 4, 5, 6,

Podczas badania przestrzegano ponadto następujących zasad:

— instrument został ustawiony w takim położeniu, że umożliwił zajęcie przez obserwatora wygodnej pozycji siedzącej,

— obserwację prowadzono przy po-

Rys. 47. Sposób nastawiania odczytów, przyjęty w metodzie różnicowej przy pomiarze interwału kątowego, zawartego pomiędzy kreskami podwójnego podziału. Lewa kreska dolnego obrazu spełnia rolę indeksu

ziomo położonej lunecie. Obrazy koincydujących kresek podziału koła widziane były przez mikroskop odczytowy jako kreski pionowe,

— zabezpieczono jednolite, nierażące oświetlenie elektryczne optycznego układu odczytowego,

— pomiar poszczególnych wielkości Δu przeprowadzano w przybliżeniu na tym samym miejscu podziałki mikrometru.

Wyniki pomiarów zestawiono w tablicy 3 i 4.

prowadzono

Seria I

Dziennik obserwacji

Tablica 3

u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p	u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p
	l^c	p^c				l^c	p^c		
0	5,148	7,362	+ 7	+ 5	200	5,134	7,334	- 6	+ 2
	5,156	7,370	- 1	- 3		5,136	7,336	- 8	0
	5,152	7,370	+ 3	- 3		5,119	7,338	+ 9	- 2
	5,164	7,366	- 9	+ 1		5,124	7,336	+ 4	0
	5,155	7,367	Σ 0	0		5,128	7,336	Σ - 1	0
20	5,188	7,398	+ 4	0	220	5,112	7,316	+ 2	+ 5
	5,200	7,394	- 8	+ 4		5,120	7,320	- 6	+ 1
	5,196	7,398	- 4	0		5,106	7,326	+ 8	- 5
	5,184	7,400	+ 8	- 2		5,120	7,322	- 6	- 1
	5,192	7,398	Σ 0	+ 2		5,114	7,321	Σ - 2	0
40	5,174	7,370	- 10	+ 4	240	5,124	7,342	+ 10	- 4
	5,160	7,364	+ 4	+ 10		5,126	7,340	+ 8	- 2
	5,154	7,372	+ 10	+ 2		5,140	7,340	- 6	- 2
	5,168	7,392	- 4	- 18		5,148	7,330	- 14	+ 8
	5,164	7,374	Σ 0	- 2		5,134	7,338	Σ - 2	0
60	5,128	7,338	0	0	260	5,142	7,350	+ 6	+ 3
	5,134	7,336	- 6	+ 2		5,142	7,360	+ 6	- 7
	5,124	7,340	+ 4	- 2		5,150	7,344	- 2	+ 9
	5,126	7,336	+ 2	+ 2		5,158	7,358	- 10	- 5
	5,128	7,338	Σ 0	+ 2		5,148	7,353	Σ 0	0
80	5,134	7,340	- 4	- 6	280	5,176	7,400	+ 3	- 8
	5,130	7,334	0	0		5,186	7,388	- 7	+ 4
	5,124	7,336	+ 6	- 2		5,184	7,394	- 5	- 2
	5,132	7,326	- 2	+ 8		5,170	7,384	+ 9	+ 8
	5,130	7,334	Σ 0	0		5,179	7,392	Σ 0	+ 2
100	5,106	7,316	+ 2	- 4	300	5,150	7,340	- 8	0
	5,114	7,308	- 6	+ 4		5,144	7,344	- 2	- 4
	5,106	7,310	+ 2	+ 2		5,130	7,338	+ 12	+ 2
	5,104	7,316	+ 4	- 4		5,144	7,340	- 2	0
	5,108	7,312	Σ + 2	+ 2		5,142	7,340	Σ 0	- 2
120	5,116	7,306	- 4	+ 6	320	5,108	7,332	+ 8	- 6
	5,116	7,316	- 4	- 4		5,122	7,334	- 6	- 8
	5,104	7,320	+ 8	- 8		5,110	7,318	+ 6	+ 8
	5,114	7,308	- 2	+ 4		5,122	7,322	- 6	+ 4
	5,112	7,312	Σ - 2	- 2		5,116	7,326	Σ + 2	- 2
140	5,118	7,358	+ 14	0	340	5,074	7,284	+ 4	+ 6
	5,124	7,340	+ 8	+ 18		5,080	7,294	- 2	- 4
	5,142	7,362	- 10	- 4		5,082	7,296	- 4	- 6
	5,142	7,374	- 10	- 16		5,074	7,286	+ 4	+ 4
	5,132	7,358	Σ + 2	- 2		5,078	7,290	Σ + 2	0
160	5,136	7,358	- 7	- 6	360	5,120	7,344	+ 7	0
	5,124	7,364	+ 5	- 12		5,130	7,340	- 3	+ 4
	5,126	7,350	+ 3	+ 2		5,134	7,344	- 7	0
	5,132	7,338	- 3	+ 14		5,124	7,350	+ 3	- 6
	5,129	7,352	Σ - 2	- 2		5,127	7,344	Σ 0	- 2
180	5,108	7,336	+ 1	- 6	380	5,156	7,368	- 9	- 8
	5,110	7,324	- 1	+ 6		5,142	7,360	+ 5	0
	5,106	7,320	+ 3	+ 10		5,148	7,362	- 1	- 2
	5,114	7,342	- 5	- 12		5,142	7,352	+ 5	+ 8
	5,109	7,330	Σ - 2	- 2		5,147	7,360	Σ 0	- 2

Seria II

u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p	u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p
	l^c	p^c				l^c	p^c		
10	5,160	7,352	- 10	+ 4	210	5,154	7,366	+ 5	- 4
	5,152	7,364	- 2	- 8		5,160	7,364	- 1	- 2
	5,142	7,350	+ 8	+ 6		5,158	7,352	+ 1	+ 10
	5,148	7,358	+ 2	- 2		5,164	7,364	- 5	- 2
	5,150	7,356	Σ - 2	0		5,159	7,362	Σ 0	+ 2
30	5,146	7,374	+ 4	- 4	230	5,162	7,376	- 4	+ 2
	5,158	7,376	- 8	- 6		5,152	7,378	+ 6	0
	5,148	7,356	+ 2	+ 14		5,160	7,384	- 2	- 6
	5,150	7,376	0	- 6		5,158	7,376	0	+ 2
	5,150	7,370	Σ - 2	- 2		5,158	7,378	Σ 0	- 2
50	5,156	7,376	- 8	0	250	5,144	7,362	- 2	- 7
	5,142	7,380	+ 6	- 4		5,138	7,352	+ 4	+ 3
	5,152	7,372	- 4	+ 4		5,134	7,352	+ 8	+ 3
	5,144	7,376	+ 4	0		5,150	7,354	- 8	+ 1
	5,148	7,376	Σ - 2	0		5,142	7,355	Σ + 2	0
70	5,166	7,378	0	- 6	270	5,138	7,358	+ 2	- 2
	5,178	7,364	- 12	+ 8		5,144	7,348	- 4	+ 8
	5,158	7,380	+ 8	- 8		5,136	7,360	+ 4	- 4
	5,164	7,368	+ 2	+ 4		5,140	7,358	0	- 2
	5,166	7,372	Σ - 2	- 2		5,140	7,356	Σ + 2	0
90	5,110	7,358	+ 14	- 11	290	5,152	7,376	+ 2	+ 3
	5,128	7,342	- 4	+ 5		5,156	7,374	- 2	+ 5
	5,126	7,340	- 2	+ 7		5,146	7,380	+ 8	- 1
	5,130	7,348	- 6	- 1		5,162	7,386	- 8	- 7
	5,124	7,347	Σ + 2	0		5,154	7,379	Σ 0	0
110	5,140	7,342	+ 10	+ 7	310	5,144	7,354	- 6	+ 2
	5,150	7,352	0	- 3		5,130	7,350	+ 8	+ 6
	5,156	7,348	- 6	+ 1		5,136	7,360	+ 2	- 4
	5,156	7,354	- 6	- 5		5,140	7,358	- 2	- 2
	5,150	7,349	Σ - 2	0		5,138	7,356	Σ + 2	2
130	5,140	7,368	+ 6	+ 6	330	5,140	7,338	0	+ 11
	5,144	7,378	+ 2	- 4		5,144	7,354	- 4	- 5
	5,158	7,372	- 12	+ 2		5,134	7,354	+ 6	- 5
	5,144	7,378	+ 2	- 4		5,142	7,350	- 2	- 1
	5,146	7,374	Σ - 2	0		5,140	7,349	Σ 0	0
150	5,118	7,320	- 10	- 2	350	5,112	7,356	+ 5	- 13
	5,112	7,324	- 4	- 6		5,128	7,338	- 11	+ 5
	5,100	7,316	+ 8	+ 2		5,110	7,340	+ 7	+ 3
	5,100	7,312	+ 8	+ 6		5,118	7,338	- 1	+ 5
	5,108	7,318	Σ + 2	0		5,117	7,343	Σ 0	0
170	5,172	7,370	- 5	+ 4	370	5,146	7,346	- 10	+ 2
	5,158	7,382	+ 9	- 8		5,130	7,352	+ 6	- 4
	5,174	7,380	- 7	- 6		5,138	7,346	- 2	+ 2
	5,164	7,366	+ 3	+ 8		5,130	7,350	+ 6	- 2
	5,167	7,374	Σ 0	- 2		5,136	7,348	Σ 0	- 2
190	5,172	7,392	+ 8	+ 4	390	5,132	7,376	+ 13	0
	5,180	7,404	0	- 8		5,146	7,374	- 1	+ 2
	5,180	7,390	0	+ 6		5,150	7,378	- 5	- 2
	5,190	7,396	- 10	0		5,152	7,376	- 7	0
	5,180	7,396	Σ - 2	+ 2		5,145	7,376	Σ 0	0

Seria III

u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p	u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p
	l^c	p^c				l^c	p^c		
5	5,154	7,482	+ 6	+ 11	205	5,180	7,398	+ 2	- 4
	5,162	7,504	- 2	- 11		5,178	7,372	+ 4	+ 22
	5,170	7,498	- 10	- 5		5,188	7,402	- 6	- 8
	5,156	7,488	+ 4	+ 5		5,180	7,402	+ 2	- 8
	5,160	7,493	Σ - 2	0		5,182	7,394	Σ + 2	+ 2
25	5,134	7,362	- 14	- 16	225	5,166	7,408	+ 2	- 8
	5,120	7,338	0	+ 8		5,170	7,400	- 2	0
	5,116	7,340	+ 4	+ 6		5,160	7,402	+ 8	+ 2
	5,110	7,344	+ 10	+ 2		5,176	7,392	- 8	+ 8
	5,120	7,346	Σ 0	0		5,168	7,400	Σ 0	+ 2
45	5,164	7,386	+ 4	+ 13	245	5,150	7,392	+ 8	- 9
	5,182	7,402	- 14	- 3		5,160	7,388	- 2	- 5
	5,166	7,400	+ 2	- 1		5,158	7,380	0	+ 3
	5,158	7,408	+ 10	- 9		5,162	7,372	- 4	+ 11
	5,168	7,399	Σ + 2	0		5,158	7,383	Σ + 2	0
65	5,124	7,350	+ 3	+ 9	265	5,138	7,366	+ 2	- 8
	5,118	7,362	+ 9	- 3		5,138	7,350	+ 2	+ 8
	5,138	7,370	- 11	- 11		5,144	7,344	- 4	+ 14
	5,128	7,354	- 1	+ 5		5,140	7,374	0	- 16
	5,127	7,359	Σ 0	0		5,140	7,358	Σ 0	- 2
85	5,182	7,402	- 11	- 6	285	5,124	7,342	- 5	+ 3
	5,160	7,378	+ 11	+ 18		5,118	7,342	+ 1	+ 3
	5,162	7,398	+ 9	- 2		5,114	7,346	+ 5	- 1
	5,180	7,408	- 9	- 12		5,120	7,350	- 1	- 5
	5,171	7,396	Σ 0	- 2		5,119	7,345	Σ 0	0
105	5,142	7,344	- 8	+ 4	305	5,110	7,316	- 1	+ 10
	5,136	7,346	- 2	+ 2		5,106	7,322	+ 3	+ 4
	5,122	7,352	+ 12	- 4		5,116	7,334	- 7	- 8
	5,138	7,350	- 4	- 2		5,104	7,332	+ 5	- 6
	5,134	7,348	Σ - 2	0		5,109	7,326	Σ 0	0
125	5,148	7,368	+ 2	- 5	325	5,152	7,370	+ 4	0
	5,154	7,364	- 4	- 1		5,154	7,362	+ 2	+ 8
	5,152	7,362	- 2	+ 1		5,150	7,368	+ 6	+ 2
	5,144	7,358	+ 6	+ 5		5,170	7,382	- 14	- 12
	5,150	7,363	Σ + 2	0		5,156	7,370	Σ - 2	- 2
145	5,118	7,346	- 5	- 12	345	5,144	7,364	0	- 2
	5,106	7,330	+ 7	+ 4		5,146	7,354	- 2	+ 8
	5,108	7,326	+ 5	+ 8		5,140	7,368	+ 4	- 6
	5,120	7,332	- 7	+ 2		5,148	7,360	- 4	+ 2
	5,113	7,334	Σ 0	+ 2		5,144	7,362	Σ - 2	+ 2
165	5,120	7,320	+ 3	+ 6	365	5,108	7,332	+ 4	- 2
	5,124	7,314	- 1	+ 12		5,106	7,324	+ 6	+ 6
	5,118	7,338	+ 5	- 12		5,114	7,320	- 2	+ 10
	5,130	7,334	- 7	- 8		5,118	7,344	- 6	- 14
	5,123	7,326	Σ 0	- 2		5,112	7,330	Σ - 2	0
185	5,150	7,402	+ 12	+ 4	385	5,082	7,342	+ 8	- 7
	5,162	7,408	0	- 2		5,090	7,338	0	- 3
	5,170	7,404	- 8	+ 2		5,102	7,320	- 12	+ 15
	5,164	7,408	- 2	- 2		5,088	7,340	+ 2	- 5
	5,162	7,406	Σ + 2	+ 2		5,090	7,335	Σ - 2	0

Seria IV

u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p	u^g	Odczyt mikrometru		v_l	v_p
	l^c	p^c				l^c	p^c		
15	5,120	7,346	0	- 9	215	5,144	7,366	+ 6	+ 6
	5,134	7,342	- 14	- 5		5,144	7,372	+ 6	0
	5,114	7,338	+ 6	- 1		5,164	7,382	- 14	- 10
	5,114	7,322	+ 6	+ 15		5,146	7,370	+ 4	+ 2
	5,120	7,337	Σ - 2	0		5,150	7,372	Σ + 2	- 2
35	5,156	7,386	+ 2	- 6	235	5,142	7,384	+ 10	- 11
	5,160	7,378	- 2	+ 2		5,156	7,372	- 4	+ 1
	5,150	7,382	+ 8	- 2		5,152	7,374	0	- 1
	5,164	7,376	- 6	+ 4		5,156	7,362	- 4	+ 11
	5,158	7,380	Σ + 2	- 2		5,152	7,373	Σ + 2	0
55	5,134	7,360	+ 9	- 2	255	5,138	7,326	- 4	+ 13
	5,138	7,358	+ 5	0		5,142	7,344	- 8	- 5
	5,160	7,360	- 17	- 2		5,122	7,342	+ 12	- 3
	5,140	7,356	+ 3	+ 2		5,132	7,344	+ 2	- 5
	5,143	7,358	Σ 0	- 2		5,134	7,339	Σ + 2	0
75	5,130	7,358	+ 6	+ 4	275	5,126	7,350	+ 4	+ 3
	5,140	7,364	- 4	- 2		5,134	7,356	- 4	- 3
	5,134	7,368	+ 2	- 6		5,140	7,344	- 10	+ 9
	5,138	7,356	- 2	+ 6		5,120	7,362	+ 10	- 9
	5,136	7,362	Σ + 2	+ 2		5,130	7,353	Σ 0	0
95	5,144	7,378	- 3	- 13	295	5,158	7,382	- 8	- 16
	5,136	7,362	+ 5	+ 3		5,148	7,362	+ 2	+ 4
	5,150	7,360	- 9	+ 5		5,158	7,366	- 8	0
	5,134	7,360	+ 7	+ 5		5,138	7,356	+ 12	+ 10
	5,141	7,365	Σ 0	0		5,150	7,366	Σ + 2	- 2
115	5,164	7,400	+ 9	- 11	315	5,134	7,378	- 2	- 20
	5,178	7,380	- 5	+ 9		5,122	7,344	+ 10	+ 14
	5,170	7,382	+ 3	+ 7		5,128	7,346	+ 4	+ 12
	5,180	7,394	- 7	- 5		5,142	7,364	- 10	- 6
	5,173	7,389	Σ 0	0		5,132	7,358	Σ + 2	0
135	5,144	7,346	- 2	+ 8	335	5,170	7,374	- 14	- 4
	5,140	7,354	+ 2	0		5,158	7,370	- 2	0
	5,132	7,358	+ 10	- 4		5,158	7,372	- 2	- 2
	5,150	7,358	- 8	- 4		5,140	7,364	+ 16	+ 6
	5,142	7,354	Σ + 2	0		5,156	7,370	Σ - 2	0
155	5,108	7,324	+ 7	+ 14	355	5,122	7,338	- 10	- 8
	5,120	7,350	- 5	- 12		5,118	7,326	- 6	+ 4
	5,122	7,334	- 7	+ 4		5,108	7,322	+ 4	+ 8
	5,110	7,344	+ 5	- 6		5,100	7,332	+ 12	- 2
	5,115	7,338	Σ 0	0		5,112	7,330	Σ 0	+ 2
175	5,158	7,358	- 6	+ 6	375	5,138	7,338	- 4	+ 2
	5,168	7,364	- 16	0		5,132	7,336	+ 2	+ 4
	5,140	7,368	+ 12	- 4		5,134	7,348	0	- 8
	5,144	7,366	+ 8	- 2		5,130	7,340	+ 4	0
	5,152	7,364	Σ - 2	0		5,134	7,340	Σ + 2	- 2
195	5,130	7,350	+ 2	+ 4	395	5,132	7,342	- 2	0
	5,146	7,350	- 14	+ 4		5,134	7,340	- 4	+ 2
	5,124	7,360	+ 8	- 6		5,138	7,344	- 8	- 2
	5,126	7,354	+ 6	0		5,114	7,340	+ 16	+ 2
	5,132	7,354	Σ + 2	+ 2		5,130	7,342	Σ + 2	+ 2

Tablica 4

Zestawienie wyników i obliczenia

Położenie koła u	Δu_i	$\Delta u_{sr} - \Delta u_i$	Położenie koła $(u + 200)^g$	Δu_i	$\Delta u_{sr} - \Delta u_i$	(6) + (3) 2	(6) - (3) 2
1	2	3	4	5	6	7	8
0 ^g	2,212 ^c	+ 0,005 ^c	200 ^g	2,208 ^c	+ 0,009 ^c	+ 0,007 ^c	+ 0,002 ^c
5	2,233	- 0,016	205	2,212	+ 0,005	- 0,006	+ 0,010
10	2,206	+ 0,011	210	2,203	+ 0,014	+ 0,012	+ 0,002
15	2,217	0,000	215	2,222	- 0,005	- 0,002	- 0,002
20	2,206	+ 0,011	220	2,207	+ 0,010	+ 0,010	0,000
25	2,226	- 0,009	225	2,232	- 0,015	- 0,012	- 0,003
30	2,220	- 0,003	230	2,220	- 0,003	- 0,003	0,000
35	2,222	- 0,005	235	2,221	- 0,004	- 0,004	0,000
40	2,210	+ 0,007	240	2,204	+ 0,013	+ 0,010	+ 0,003
45	2,231	- 0,014	245	2,225	- 0,008	- 0,011	+ 0,003
50	2,228	- 0,011	250	2,213	+ 0,004	- 0,004	+ 0,008
55	2,215	+ 0,002	255	2,205	+ 0,012	+ 0,007	+ 0,005
60	2,210	+ 0,007	260	2,205	+ 0,012	+ 0,010	+ 0,002
65	2,222	- 0,005	265	2,218	- 0,001	- 0,003	+ 0,002
70	2,206	+ 0,011	270	2,216	+ 0,001	+ 0,006	- 0,005
75	2,226	- 0,009	275	2,223	- 0,006	- 0,008	+ 0,002
80	2,204	+ 0,013	280	2,213	+ 0,004	+ 0,008	- 0,004
85	2,225	- 0,008	285	2,226	- 0,009	- 0,008	0,000
90	2,223	- 0,006	290	2,225	- 0,008	- 0,007	- 0,001
95	2,224	- 0,007	295	2,216	+ 0,001	- 0,003	+ 0,004
100	2,204	+ 0,013	300	2,198	+ 0,019	+ 0,016	+ 0,003
105	2,214	+ 0,003	305	2,217	0,000	+ 0,002	- 0,002
110	2,219	- 0,002	310	2,218	- 0,001	- 0,002	0,000
115	2,216	+ 0,001	315	2,226	- 0,009	- 0,004	- 0,005
120	2,200	+ 0,017	320	2,210	+ 0,007	+ 0,012	- 0,005
125	2,213	+ 0,004	325	2,214	+ 0,003	+ 0,004	0,000
130	2,228	- 0,011	330	2,209	+ 0,008	- 0,002	+ 0,010
135	2,212	+ 0,005	335	2,214	+ 0,003	+ 0,004	- 0,001
140	2,226	- 0,009	340	2,212	+ 0,005	- 0,002	+ 0,007
145	2,221	- 0,004	345	2,218	- 0,001	- 0,002	+ 0,002
150	2,210	+ 0,007	350	2,226	- 0,009	- 0,001	- 0,008
155	2,217	0,000	355	2,218	- 0,001	0,000	0,000
160	2,223	- 0,006	360	2,217	0,000	- 0,003	+ 0,003
165	2,203	+ 0,014	365	2,218	- 0,001	+ 0,006	- 0,008
170	2,207	+ 0,010	370	2,212	+ 0,005	+ 0,008	- 0,002
175	2,212	+ 0,005	375	2,206	+ 0,011	+ 0,008	+ 0,003
180	2,221	- 0,004	380	2,213	+ 0,004	0,000	+ 0,004
185	2,244	- 0,027	385	2,245	- 0,028	- 0,028	0,000
190	2,216	+ 0,001	390	2,231	- 0,014	- 0,006	- 0,008
195	2,222	- 0,005	395	2,212	+ 0,005	0,000	+ 0,005

$$\frac{[\Delta u_i]}{n} = \Delta u_{sr} = 2,217^c$$

$$\gamma = \frac{[(8)]}{n_1} = + 0,0006^c$$

Zgodnie z wzorem (5) średni przypadkowy błąd podwójnej kreski podziału wynosi:

$$m_{2k} = \pm \sqrt{\frac{67,74}{80-1}} = \pm 0,92^{cc} (0,30''),$$

a kreski średnicowej:

$$m_{4k} = \pm \frac{0,92^{cc}}{\sqrt{2}} = \pm 0,65^{cc} (0,21'').$$

Wielkość tych błędów mieści się w dopuszczalnych granicach i pokrywa się w zupełności z podawaną przez wytwórnictwo dokładnością (średni przypadkowy błąd kreski średnicowej, wyznaczony metodą Heuvelinka jest rzędu $\pm 0,20''$). Błąd ten leży poniżej dokładności pojedynczej koincydencji, która w zależności od wprawy i dyspozycji obserwatora mieści się w granicach $1,2'' - 0,7''$. Średni błąd pojedynczej koincydencji, wyprowadzony z 640 nastawień odczytu przeprowadzonych podczas badania (tablica 3), wyniósł $\pm 0,77^{cc}$ ($0,25''$). Przypadkowy błąd kreski średnicowej obliczono dodatkowo z wzoru:

$$m_{4k} = \pm \sqrt{\frac{[(\Delta u_{sr} - \Delta u_i)_{sr} \frac{u + (u + 200)}{2}]^2}{(n - 1)}} = \pm 0,58^{cc} (0,19''),$$

gdzie

$$(\Delta u_{sr} - \Delta u_i)_{sr} \frac{u + (u + 200)}{2} = \frac{(\Delta u_{sr} - \Delta u_i)_{u^g} + (\Delta u_{sr} - \Delta u_i)_{(u + 200)^g}}{2},$$

(kolumna 7 tablicy 4).

W kolumnie 8 zestawiono średnie różnice odpowiadających sobie wielkości $(\Delta u_{sr} - \Delta u_i)_{u^g}$ i $(\Delta u_{sr} - \Delta u_i)_{(u + 200)^g}$. Wielkość γ obliczona na podstawie tych różnic charakteryzuje wpływ takich systematycznych błędów instrumentalnych, jak np. mimośrodowe osadzenie alidady lub koła podziałowego. W badanym teodolicie wielkość ta jest praktycznie równa zeru ($+ 0,06^{cc}$).

2. Metoda Heuvelinka. Badanie tą metodą przeprowadzono według skróconego programu (przyjęto po cztery położenia koła w każdej serii), przede wszystkim w celu skontrolowania wyników otrzymanych przy metodzie różnicowej.

Metoda Heuvelinka, jak wiadomo, polega na wielokrotnym wyznaczeniu wartości danego stałego kąta α na różnych, symetrycznie rozmieszczonych miejscach podziału koła. Średni błąd wyznaczonego kąta będzie.

$$M_\alpha^2 = m_\alpha^2 + 2 \cdot \tau^2, \quad (7)$$

gdzie m_α — średni błąd obserwacji, τ — średni całkowity błąd kreski średnicowej podziału koła. Szukaną wartość

$$\tau^2 = \frac{1}{2} \cdot M_\alpha^2 - \frac{1}{2} \cdot m_\alpha^2 \quad (8)$$

można więc określić, eliminując z wielkości M_a wpływ błędów samej obserwacji (m_a). Średni błąd obserwacji określa się z pomiarów tego samego kąta α , mierzonego parokrotnie w każdym położeniu badanego koła. Różnice pomiędzy poszczególnymi obserwacjami, wykonanymi na tym samym miejscu koła, a średnią z tych obserwacji — wolne będą od wpływu błędów podziału.

Część systematyczną błędów podziału, zawartą w wielkości τ można wyeliminować posługując się szeregiem Fourriera

$$F = \sum_{n=1}^{n=\infty} r_n \cdot \sin(m \cdot n \cdot u + R_n), \quad (9)$$

gdzie F — błąd systematyczny kreski u , m — ilość urządzeń odczytowych (przy koincydencyjnym systemie odczytowym $m = 2$), r_n i R_n — wielkości stałe charakteryzujące dane koło podziałowe. Szereg F jest określony dla dowolnej kreski u (lub kreski średnicowej) przy znanych stałych r_n i R_n . Z praktycznie wystarczającą dokładnością rachunek ogranicza się do znalezienia trzech pierwszych wyrazów szeregu (9). Oznaczając przez M_a''' średni błąd pomiaru kąta, wolny od wpływu systematycznych błędów podziału koła, wielkość

$$\tau''' = -\frac{1}{2} \cdot M_a'''^2 - \frac{1}{2} \cdot m_a^2 \quad (10)$$

jest szukanym średnim przypadkowym błędem podziału.

Różnica

$$\tau - \tau'''$$

charakteryzuje rząd systematycznej części błędu kresek średnicowych.

W celu uzyskania możliwie najdokładniejszych wyników badania, przestrzegano następujących zasad, poza wymienionymi już przy omawianiu badania koła poziomego metodą różnicową:

- stałość położenia instrumentu na słupku obserwacyjnym została zabezpieczona przez: zagipsowanie podstawki instrumentu, spoziomowanie instrumentu przy wkręconych śrubach nastawniczych i lekkie zablokowanie tych śrub,
- kolimatory zostały ustawione w przybliżeniu w poziomie, przez co uniknięto zmiany położenia lunety przy celowaniu na kolimator lewy i prawy. Poza skróceniem czasu obserwacji, wyeliminowano w ten sposób wpływ ewentualnych błędów układu osi poziomej.
- zabezpieczono jednolite oświetlenie kolimatorów i optycznego systemu odczytowego teodolitu. Niezbyt jaskrawe oświetlenie pozwoliło na pełne wykorzystanie źrenicy oka (źrenica oka większa od źrenicy wyjściowej okularu). Jednolite oświetlenie stwarzało też dla oka najmniej męczące warunki przy przechodzeniu od celowania do nastawiania odczytu i odwrotnie.

- stały kąt α , zrealizowany w laboratorium przy pomocy kolimatorów, został tak dobrany, aby odczyty mikrometru były przy obu kierunkach w przybliżeniu równe sobie. Uzyskano w ten sposób dalsze, tak istotne przy metodzie Heuvelinka, skrócenie czasu obserwacji i zabezpieczono się przed ewentualnymi wpływami błędów mikrometru.
- poszczególne nastawienia odczytów wykonywano ruchem jednokierunkowym, zgodnie z ruchem wskazówki zegara,
- górną część instrumentu obracano ruchem płynnym, ujmując dwoma rękami oba dźwigary osi poziomej,
- śrubę zaciskową dokręcano z maksymalnym wyczuciem, w miarę lekko i jednolicie przy poszczególnych ustawieniach alidady.

Wyniki badania zestawiono w tablicy 5.

Zestawienie wyników obserwacji

Tablica 5

Polożenie koła u^g	Szereg p^1			Szereg p^2			$p^{cc} = \frac{1}{2} \cdot$ $\cdot (p_i^1 + p_i^2)$	$(p - \alpha)$
	Nr _i	$p_{i(sr.)}^{cc}$	d_i^{cc}	Nr _i	$p_{i(sr.)}^{cc}$	d_i^{cc}		
Seria I								
0	1	2,4	— 0,5	8	2,3	— 0,6	2,4	— 2,9
50	2	4,8	+ 3,1	7	4,2	+ 0,5	4,5	— 0,8
100	3	11,4	— 0,7	6	12,6	+ 1,5	12,0	+ 6,7
150	4	3,0	— 0,9	5	1,5	+ 1,0	2,2	— 3,1
						$\alpha = p_{sr}^I =$	5,3	$\Sigma - 0,1$
Seria II								
25	9	1,0	— 0,2	16	2,0	+ 1,1	1,5	— 2,5
75	10	9,8	— 0,3	15	9,9	— 2,4	9,8	+ 5,8
125	11	2,8	+ 1,5	14	3,0	+ 0,3	2,9	— 1,1
175	12	2,0	+ 0,5	13	2,0	— 0,3	2,0	— 2,0
						$\alpha = p_{sr}^{II} =$	4,0	$\Sigma + 0,2$
Seria III								
12,5	17	3,7	+ 0,6	24	3,0	— 0,2	3,4	— 0,2
62,5	18	5,6	— 0,1	23	5,6	+ 0,5	5,6	+ 2,0
112,5	19	5,4	+ 0,3	22	5,7	+ 0,8	5,6	+ 2,0
162,5	20	— 0,3	— 0,6	21	— 0,6	— 0,2	— 0,4	— 4,0
						$\alpha = p_{sr}^{III} =$	3,6	$\Sigma - 0,2$
Seria IV								
37,5	25	3,0	0,0	32	4,1	— 0,4	3,6	— 0,8
87,5	26	11,8	— 0,4	31	10,7	— 1,0	11,2	+ 6,8
137,5	27	1,6	— 0,3	30	0,9	0,0	1,2	— 3,2
187,5	28	2,0	+ 0,2	29	1,4	+ 0,1	1,7	— 2,7
						$\alpha = p_{sr}^{IV} =$	4,4	$\Sigma + 0,1$

Po przeprowadzeniu odpowiednich przeliczeń, otrzymano:

średni całkowity błąd kreski średnicowej $\tau = \pm 2,88^{cc} (0,94'')$

średni przypadkowy błąd kreski średnicowej $\tau''' = \pm 0,57^{cc} (0,18'')$

Otrzymany wynik, jeżeli chodzi o wielkość przypadkowych błędów podziału, jest całkowicie zgodny z wynikiem badania koła metodą różnicową (pkt. 1). Pokrywa się on również z charakterystyką dokładności podziału kół teodolitów Theo 010, podawaną w prospektach fabrycznych ($\tau''' = \pm 0,18''$). Przyjmując otrzymany rząd wielkości błędów przypadkowych jako typowy dla kół podziałowych Theo 010, należy stwierdzić wysoką precyzję podziału. Z drugiej jednak strony badane koło wykazuje stosunkowo duży, aczkolwiek dopuszczalny dla tej klasy instrumentów, średni całkowity błąd kresek średnicowych. Byłoby więc ryzykowne uogólnienie tych wyników przed uprzednim zbadaniem co najmniej kilku kół podziałowych, każde przez paru obserwatorów.

W tablicy 6 podano dla celów porównawczych wyniki uzyskane przez autora przy badaniu kół podziałowych teodolitów precyzyjnych firm. Cooke Troughton & Simms oraz Wilda. Zaznaczyć należy że porównywane teodolity należą do wyższej klasy dokładności.

Tablica 6

Firma typ	Carl Zeiss Jena Theo 010	Cooke Troughton & Simms Geodetic Tavistock 0,5''				W i l d	
						T 4	T 3
τ'''	$\pm 0,6^{cc}$	$\pm 1,4^{cc}$	$\pm 1,8^{cc}$	$\pm 0,5^{cc}$	$\pm 1,9^{cc}$	$\pm 1,2^{cc}$	$\pm 1,2^{cc}$
	$\pm 0,2''$	$\pm 0,4''$	$\pm 0,6''$	$\pm 0,2''$	$\pm 0,6''$	$\pm 0,4''$	$\pm 0,4''$

Otrzymane z obu metod wyniki badania koła poziomego teodolitu Theo 010 potwierdzają słuszność przyjętych założeń przy metodzie różnicowej. Porównanie to wskazuje również na to, że przy metodzie różnicowej w znacznie krótszym czasie uzyskać można bogatszy materiał obserwacyjny, wolny od szeregu błędów instrumentalnych i błędów celowania. Wadą natomiast tej metody jest ograniczenie jej wyników tylko do błędów przypadkowych podziału koła. Metoda ta natomiast, ze względu na swoją prostotę a jednocześnie dokładność, może być z powodzeniem stosowana przy okresowych badaniach stałości molekularnej kół teodolitów precyzyjnych. Badania w tym zakresie są bowiem, zdaniem autora, w pełni uzasadnione i celowe. Wyniki tych badań są interesujące nie tylko dla użytkownika precyzyjnych instrumentów kątomierzowych, lecz w nie mniejszym stopniu i dla samej wytwórni tych instrumentów. Badania tego rodzaju nie powinny mieć ze zrozumiałych względów charakteru masowego i mogą być ograniczone do celowo wybranych egzemplarzy teodolitów.

Z zalet metody różnicowej należy jeszcze podkreślić możliwość równie łatwego badania kół pionowych. Metoda ta nie wymaga żadnego dodatkowego wyposażenia.

II. BADANIE STAŁOŚCI POŁOŻENIA PIONOWEGO UKŁADU OSIO- WEGO NA PODSTAWIE POŁOŻEŃ PĘCHERZYKA LIBELI GŁÓWNEJ

Badanie przeprowadzono obserwując położenia pęcherzyka libeli głównej teodolitu przy różnych ustawieniach alidady, rozmieszczonych symetrycznie w stosunku do koła poziomego. Podczas badania instrument umieszczony był na słupie obserwacyjnym w laboratorium w warunkach, gwarantujących niezmiennie położenie podstawki spodarki oraz izolację instrumentu od jakichkolwiek wpływów zewnętrznych. W celu dodatkowego uchronienia instrumentu od ewentualnego chwiania się spodarki na śrubach nastawniczych, śruby zostały lekko zablokowane przy pomocy pierścieni regulujących opór tarcia. Ponadto teodolit spoziomowany został przy maksymalnie wkręconych śrubach nastawniczych.

Podczas obrotu górnej części instrumentu przestrzegano, podobnie jak przy badaniu podziału koła metodą Heuvelinka, aby obrót ten odbywał się ruchem płynnym, jednak w miarę szybkim. Unikano też zmiany kierunku obrotu alidady w celu uniknięcia zakłóceń w położeniu osi, spowodowanych przypadkowym przemieszczeniem się smaru. Postępowanie takie uzasadnione jest stwierdzeniem, że warstewka smaru w układach osiowych przemieszcza się pomiędzy osią i tuleją w przybliżeniu z szybkością o połowę mniejszą w porównaniu z obrotem górnej części instrumentu. Ścisły przebieg tego zjawiska uzależniony jest oczywiście od tolerancji pasowania części trących, od gatunku smaru i od temperatury otoczenia.

Pomiędzy kolejnymi ustawieniami górnej części instrumentu a momentem odczytywania położenia końców pęcherzyka libeli zachowywano jednakowy interwał czasu, potrzebny dla ustawienia się pęcherzyka.

W laboratorium utrzymano podczas badania stałą temperaturę w granicach $\pm 0,2^\circ$.

Celem badania było stwierdzenie, czy w układzie osi pionowej podczas obrotu górnej części instrumentu nie występowało zjawisko „chwiania się” osi. Program badania obejmował:

1. Dwukrotny pełen obrót alidady w kierunku zgodnym z ruchem wskazówki zegara („tam”), a następnie odwrotnie („z powrotem”), przy jednoczesnym wyznaczaniu położenia pęcherzyka libeli co 25° . Wyniki tego badania zestawiono w tablicy 7 i 8 oraz przedstawiono w formie wykresu na rys. 48.

2. Wyznaczenie położenia pęcherzyka libeli przy dwóch dowolnie wybranych kierunkach (przyjęto odczyty koła poziomego: 0 i 200°) po jed-

nym, dwóch, do dziesięciu pełnych obrotów górnej części instrumentu w kierunku „tam” i „z powrotem”. Wyniki zestawiono w tablicy 9. Wykres wielkości i (kolumny 4, 7, 10 i 13 tablicy 7) przedstawiono na rys. 48. Górny wykres odpowiada pierwszemu obrotowi alidady „tam” i pierwszemu „z powrotem”, dolny — drugiemu obrotowi. Skale rzędnych obu wykresów, dla większej ich przejrzystości, przesunięto o $0,3^{dz}$ libeli.

Tablica 7

Zestawienie wyników obserwacji i obliczenia

Położenie alidady u^s	Kierunek obrotu alidady „tam”						Kierunek obrotu alidady „z powrotem”					
	1-szy obrót			2-gi obrót			1-szy obrót			2-gi obrót		
	Odczyt libeli		Wych. lib.	Odczyt libeli		Wych. lib.	Odczyt libeli		Wych. lib.	Odczyt libeli		Wych. lib.
	l^{dz}	p^{dz}	i^{dz}	l^{dz}	p^{dz}	i^{dz}	l^{dz}	p^{dz}	i^{dz}	l^{dz}	p^{dz}	i^{dz}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	+0,5	-0,35	+0,08	+0,55	-0,3	+0,08	+0,55	-0,35	+0,1	+0,65	-0,25	+0,2
25	+0,2	-0,65	-0,22	+0,3	-0,6	-0,15	+0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,45	-0,42
50	0,0	-0,9	-0,45	+0,05	-0,9	-0,42	+0,05	-0,8	-0,38	-0,05	-0,9	-0,48
75	-0,3	-1,2	-0,75	-0,2	-1,1	-0,65	-0,2	-1,1	-0,65	-0,2	-1,1	-0,65
100	-0,5	-1,45	-0,98	-0,5	-1,4	-0,95	-0,5	-1,45	-0,98	-0,45	-1,4	-0,92
125	-0,75	-1,6	-1,18	-0,55	-1,45	-1,0	-0,5	-1,45	-0,98	-0,7	-1,6	-1,15
150	-0,75	-1,65	-1,2	-0,75	-1,6	-1,18	-0,75	-1,6	-1,18	-0,75	-1,65	-1,2
175	-0,7	-1,6	-1,15	-0,5	-1,4	-0,95	-0,5	-1,4	-0,95	-0,7	-1,6	-1,15
200	-0,6	-1,4	-1,0	-0,35	-1,2	-0,78	-0,4	-1,3	-0,85	-0,5	-1,45	-0,98
225	-0,25	-1,1	-0,68	-0,1	1,0	-0,55	-0,1	-1,0	-0,55	-0,25	-1,1	-0,68
250	0,0	-0,9	-0,45	+0,05	-0,75	-0,35	0,0	-0,8	-0,38	-0,05	-0,95	-0,5
275	+0,2	-0,65	-0,22	+0,4	-0,4	0,0	+0,25	-0,65	-0,2	+0,2	-0,65	-0,22
300	+0,45	-0,35	+0,05	+0,65	-0,25	+0,2	+0,5	-0,4	+0,05	+0,5	-0,4	+0,05
325	+0,7	-0,1	+0,3	+0,8	0,0	+0,4	+0,75	-0,1	+0,32	+0,65	-0,25	+0,2
350	+0,75	-0,1	+0,32	+0,8	0,0	+0,42	+0,8	-0,05	+0,38	+0,75	-0,05	+0,35
375	+0,75	-0,1	+0,32	+0,75	-0,05	+0,35	+0,8	-0,1	+0,35	+0,7	-0,15	+0,28
0	+0,5	-0,35	+0,08	+0,55	-0,25	+0,15	+0,55	-0,3	+0,12	+0,55	-0,35	+0,1
			-0,42			-0,32			-0,38			-0,40

Rys. 49 przedstawia teoretyczny wykres położenia pęcherzyka libeli głównej, odpowiadający różnym położeniom alidady, gdzie a_0 — odczyt koła poziomego, odpowiadający maksymalnemu wychyleniu osi od kierunku pionu, v — stały przy danym położeniu oprawy libeli (błąd rektyfikacji) kąt wychylenia osi libeli od kierunku prostopadłego do pionowej osi instrumentu, i_0 — wychylenie pęcherzyka libeli z położenia środkowego, odpowiadające maksymalnemu wychyleniu pionowej osi instrumentu (położenie alidady a_0).

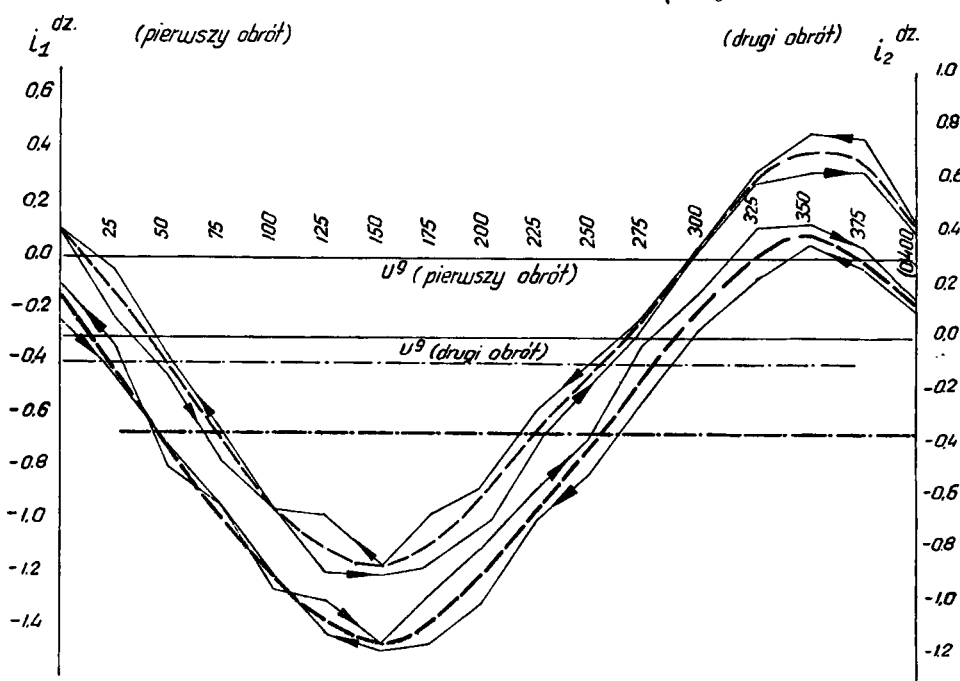
Zgodnie z rys. 49, z wielkości wychyleń pęcherzyka (i) określić można kąt $v = i_{sp}$. Z kolei, z różnicy pomiędzy maksymalnym wychyleniem

pęcherzyka a kątem ν , znaleźć można wielkość i_0 , a z rys. 48 wielkość α_0 . W zbadanym instrumencie wielkości te wynoszą:

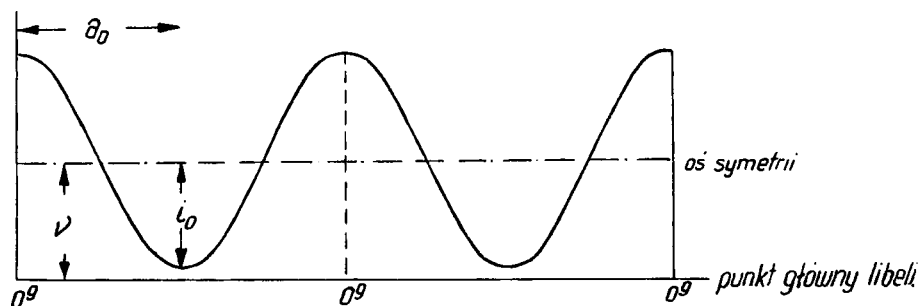
wielkość stała $\nu = -0,38^{\text{dz}} \cong -7,6''$

wielkości charakterystyczne dla położenia instrumentu w czasie badania

$$\begin{cases} i_0 = 0,82^{\text{dz}} = \\ \cong 16,4'' \\ \alpha_0 = 150^{\text{g}} \end{cases}$$



Rys. 48. Wykres wielkości i (wychylenie osi libeli głównej od położenia poziomego)



Rys. 49. Wykres teoretyczny położenia pęcherzyka libeli głównej w zależności od dokładności zrektifikowania libeli i wychylenia osi pionowej od kierunku pionu

Pomiędzy tymi wielkościami a dowolnym położeniem alidady (odczyt a) zachodzi następujący prosty związek

$$i_{\text{obs}} = \nu - i_0 \cdot \cos(\alpha - \alpha_0) \quad (11)$$

Różnice

$$(i_{\text{obs}} - i_{\text{wyr}}) \quad (12)$$

pomiędzy zaobserwowanymi a wyrównanymi wielkościami wychylenia libeli charakteryzują stałość położenia pionowego układu osiowego (chwianie się osi). Różnice te określić również można z rys. 48, na którym krzywe odpowiadające wielkościom i_{wyr} przeprowadzono liniami przerywanymi. Różnice (12) zestawiono w tablicy 8.

Zestawienie różnic ($i_{obs} - i_{wyr}$) Tablica 8

Położenie alidady u^s	Kierunek obrotu alidady	
	„t a m“	„z p o w r o t e m“
	$(i_{obs} - i_{wyr})^{dz}$	$(i_{obs} - i_{wyr})^{dz}$
1	2	3
1-szy obrót		
0	0,0	0,0
25	- 0,1	+ 0,1
50	0,0	0,0
75	0,0	0,0
100	0,0	0,0
125	+ 0,1	+ 0,1
150	0,0	0,0
175	- 0,1	+ 0,1
200	- 0,1	0,0
225	0,0	+ 0,1
250	0,0	0,0
275	0,0	0,0
300	0,0	0,0
325	0,0	0,0
350	- 0,1	+ 0,1
375	0,0	+ 0,1
0	0,0	0,0
2-gi obrót		
0	- 0,1	+ 0,1
25	0,0	+ 0,1
50	0,0	0,0
75	0,0	0,0
100	0,0	0,0
125	+ 0,1	0,0
150	0,0	0,0
175	+ 0,1	- 0,1
200	+ 0,1	- 0,1
225	+ 0,1	0,0
250	0,0	- 0,1
275	+ 0,1	- 0,1
300	+ 0,1	- 0,1
325	+ 0,1	- 0,1
350	0,0	0,0
375	0,0	0,0
0	0,0	0,0

Stwierdzone różnice, nieprzekraczające rzędu $0,1^{dz}$, a więc mieszczące się w granicach dokładności odczytu, są wynikiem nie tylko dokładności szlifowania samej ampułki libeli, lecz również dokładności pasowania poszczególnych detali układu osiowego i jakości smaru. Wszystkie te zalety wskazują na wysoką precyzję wykonania i wzajemnego spasowania osi i tulei.

Uzyskane wyniki znajdują pełne potwierdzenie w danych, zestawionych w tablicy 9, a obejmujących obserwacje przeprowadzone według programu podanego w punkcie 2.

Tablica 9

Zestawienie wyników obserwacji i obliczenia

Położ. alid.	Ilość obr.	K i e r u n e k o b r o t u a l i d a d y					
		„tam”			„z powrotem”		
		Odczyt libeli		Wychylenie libeli	Odczyt libeli		Wychylenie libeli
u^g	n	l^{dz}	p^{dz}	i^{dz}	l^{dz}	p^{dz}	i^{dz}
1	2	3	4	5	6	7	8
0	1	+ 0,6	— 0,3	+ 0,15	+ 0,6	— 0,3	+ 0,15
	2	+ 0,55	— 0,35	+ 0,1	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2
	3	+ 0,55	— 0,35	+ 0,1	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2
	4	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2
	5	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2
	6	+ 0,6	— 0,3	+ 0,15	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2
	7	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2	+ 0,7	— 0,25	+ 0,22
	8	+ 0,5	— 0,35	+ 0,08	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2
	9	+ 0,55	— 0,3	+ 0,12	+ 0,65	— 0,25	+ 0,2
	10	+ 0,5	— 0,35	+ 0,08	+ 0,6	— 0,25	+ 0,18
200	1	— 0,5	— 1,4	— 0,45	— 0,55	— 1,5	— 0,48
	2	— 0,4	— 1,3	— 0,45	— 0,35	— 1,3	— 0,48
	3	— 0,55	— 1,45	— 0,45	0,5	— 1,5	— 0,5
	4	— 0,4	— 1,3	— 0,45	— 0,4	— 1,4	— 0,5
	5	— 0,55	— 1,5	— 0,48	— 0,55	— 1,5	— 0,48
	6	— 0,45	— 1,45	— 0,5	— 0,4	— 1,4	— 0,5
	7	— 0,55	— 1,5	— 0,48	— 0,5	— 1,5	— 0,5
	8	— 0,4	— 1,35	— 0,48	— 0,4	— 1,4	— 0,5
	9	— 0,5	— 1,45	— 0,48	— 0,55	— 1,45	— 0,45
	10	— 0,4	— 1,4	— 0,5	— 0,4	— 1,35	— 0,48

W tablicy 10 zestawiono porównawcze wyniki, uzyskane przy badaniu stałości położenia osi pionowej w teodolitach firmy Wild. Badanie przeprowadzono według jednolitego programu. Należy jednak zaznaczyć, że autor nie dysponował dla celów porównawczych fabrycznie nowymi teodolitami Wilda. Były to instrumenty używane w terenie przez kilka, a nawet kilkanaście sezonów.

Biorąc nawet pod uwagę podane wyżej zastrzeżenia, zestawione wyniki wskazują na wysoką precyzję wykonania i pracy układu osi pionowej teodolitu Theo 010.

Tablica 10

Zestawienie wielkości $(i_{obs} - i_{wyr})_{max}$

Firma typ	Carl Zeiss Jena Theo 010	W i l d				
		T2	T2	T2	T2	T3
	2,5"	4"	10"	3"	3"	1"

Skontrolowano dodatkowo zachowanie się układu osi pionowej w momencie sprzęgania tulei spodarki. Przy naciskaniu pokrętki dźwigniowej (rys. 44) mechanizmu sprzęgającego, pęcherzyk libeli przemieszcza się w granicach $0,5—1,0^{\text{dz}}$, w zależności od siły nacisku palca na pokrętkę. Pęcherzyk powraca na ogół na swoje poprzednie miejsce z chwilą zwolnienia nacisku na pokrętkę śruby zaciskowej. Przy mocniejszym dokręceniu śruby można jednak zauważyć trwałe przemieszczenie pęcherzyka libeli, dochodzące nawet do $0,4—0,5^{\text{dz}}$. Należy więc unikać przesadnie silnego dokręcania śruby zaciskowej, powodującego szkodliwe reakcje i w innych częściach instrumentu, jak na przykład spodarce (śruby nastawnicze, płyta sprężynująca, podstawka spodarki) i statywie. Zjawisko to może być bowiem źródłem błędów przypadkowych. Z tego też względu, jak już nadmieniono, nie jest zbyt szczęśliwym (problematyczna wygoda) zastąpienie, w tej klasie teodolitu, pokrętki normalnej pokrętką typu dźwigniowego.

LITERATURA

- [1] *Bahnert G.*: Untersuchungen der optischen Leistung des Spiegellinsentheodolits Theo 010 im Vergleich mit anderen Sekundentheodoliten. Zeiss Vermessungs-Informationen Geodäsie, Hef 3. Dresden.
- [2] *Szymoński J.*: Instrumentoznawstwo geodezyjne część II, PPWK, Warszawa 1956
- [3] *Szymoński J.*: Wyznaczenie orientacyjnych błędów systematycznych oraz średniego błędu przypadkowego kresek średnicowych podziału koła poziomego według metody Heuvelinka. Przegląd Geodezyjny, Nr 9, 1956.
- [4] *Szymoński J.*: Metoda jednoczesnego wyznaczenia runu i średniego przypadkowego błędu podziału kół. Geodezja i Kartografia, Tom IV, zeszyt 4, 1957.
- [5] *Witożenc Cz. Ju.*: Metody issledowanija opticzeskich tieodolitow. Moskwa 1947.

ЕЖИ ШЫМОНЬСКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЛЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КРУГА И ПОСТОЯНСТВА ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ ПРЕЦИЗИОННОГО ТЕОДОЛИТА ZEISS THEO 010

Резюме

Кроме характеристики истинных конструктивных достоинств нового секундного теодолита (Sekunden — Theodolit) Theo 010, изготавливаемого фирмой VEB Carl Zeiss-Jena, в этой статье обсуждены также методы, программа и результаты исследования этого инструмента относительно:

1. среднего значения случайных ошибок деления лимба горизонтального круга,
2. постоянства положения системы вертикальной оси в зависимости от положения алидады,

т. е. относительно инструментальных погрешностей, имеющих довольно существенное значение при оценке действительной точности теодолита этого класса.

Лимб горизонтального круга был исследован согласно поощряемому автором т. наз. дифференциальному методу, состоящему в том, что средние значения случайных ошибок деления лимба определяются по разностям многократных измерении углов, заключенных между соседними парами двойных штрихов лимба.

При этом методе принимается практически допустимая предпосылка, что систематическая часть ошибок деления — имея ввиду ее периодический характер — имеет величину одного и того же порядка для каждой пары соседних штрихов деления и элиминируется при измерении угла между этими парами штрихов. Результаты добавочного исследования ошибок деления лимба общепринятым методом Гейвельинка подтвердили принятую предпосылку.

Как истинные достоинства дифференциального метода следует подчеркнуть:

1. сокращение времени нужного для исследования, получаемое вследствие ограничения измерительного процесса к совмещению штрихов и отсчетам,

2. освобождение результатов исследования от влияния ошибок визирования (ошибки цели, ошибки самого наведения на цель и влияния среды), от влияния изменении положения вертикальной оси и уменьшение ошибок отсчетов, зависящих от усталости наблюдателя, выступающей при более длинных наблюдениях и
3. возможность исследования без добавочного оборудования лаборатории, а также и в условиях полевых наблюдений.

Результаты исследования ошибок деления теодолита Theo 010 сопоставлены, для сравнения, с результатами исследования инструментов других фирм (см. табл. 6). Эти результаты указывают на высокую точность деления круга в новом теодолите Цейсса.

По мнению автора, учитывая возможность молекулярных изменений в строении стекла, следует периодически контролировать величину ошибок деления кругов теодолитов этого класса. Такие исследования были бы очень интересны равно для фирм, изготавливающих теодолиты, как и для инженеров и техников пользующихся ними.

При помощи главного уровня теодолита исследовано постоянство положения системы вертикальной оси в зависимости от оборота алидады. Результаты этого исследования подтверждают конструкционные достоинства и точность механической обработки исследуемого теодолита. Для сравнения, эти результаты ниже сопоставлены с результатами исследования теодолитов других фирм (см. табл. 10).

JERZY SZYMOŃSKI

AN EXAMINATION OF THE HORIZONTAL CIRCULAR SCALE AND
THE STABILITY OF THE VERTICAL AXIS OF ZEISS'S PRECISE
THEODOLITE THEO 010

S u m m a r y

After having given constructional qualities of „one second theodolite” Theo 010, produced by VEB Zeiss — Jena methods program and the following results of examining that instrument are given:

1. the mean value of accidental errors of the horizontal circular scale,
2. the stability of the vertical axis in dependence on the position of the alidade,

i.e. in the sphere of instrumental errors, which, are of real importance when the true accuracy of that class of theodolites is to be evaluated.

The horizontal circle has been examined by the so called method of differences, consisting in determination of a mean value of accidental errors in the circle graduation, from the differences of manifold measurements of angular distances, enclosed between individual pairs of double-cut graduation lines. A practically admissible assumption is made in this method, that the systematic part of circle scale errors, on account of their periodical nature, is of the same order for each pair of the neighbouring graduation lines, and is eliminated when angular distance between the said lines is measured. An additional examination of the graduation errors according to the Heuvelink's method has fully confirmed the adopted assumption. There are some positive qualities of the method of differences, that should be stressed:

- a) the time of examination is shortened because the surveying operations are limited to setting graduation lines in coincidence and reading; and in consequence,
- b) the results of examination are free from the influence of pointing errors (error of the target position, the error of the pointing itself, and the influence of the medium), from errors due to changes in the position of vertical axis and considerable diminution of rea-

ding errors — a source of which is the fatigue of the observer caused by an excessive number of measurements, as well as a long lasting observation period connected with it,

- c) examination may be carried on without any additional equipment of the laboratory which enables the method to be used in field conditions.

The examination results of the theodolite Theo 010 are tabulated and compared with those of the instruments manufactured by other firms (see table 6). The results point at a high accuracy of circle division achieved in new Zeiss's theodolite.

According to author's opinion the error magnitude in graduation in this class of theodolites, should be periodically tested on account of the possible secular alterations of molecular glass structure. Such examination would be of great interest for the manufacturers and the users of the instruments.

The stability of the vertical axis in dependance on the position of the alidade, has been tested by means of the plate level of the theodolite. The results of that examination have also been tabulated and compared with those of other manufacturers (see table 10). They confirm the constructional advantages and the precision of machining work of the tested theodolite.

SPIS TREŚCI

JERZY GAŻDZICKI — WOJCIECH JANUSZ	
Jednoczesne wyrównanie azymutów i współrzędnych węzłowych w siatkach poligonowych	217
JERZY SZYMOŃSKI	
Badanie podziału koła poziomego oraz stałości położenia osi pionowej teodolitu precyzyjnego Zeiss Theo 010	259

СОДЕРЖАНИЕ

ЕЖИ ГАЗЬДИЦКИ-ВОЙЦЕХ ЯНУШ	
Одновременное уравнивание узловых элементов в полигонометрических сетях	257
ЕЖИ ШЫМОНЬСКИ	
Исследование деления горизонтального круга и постоянства положения вертикальной оси прецизионного теодолита Zeiss Theo 010	285

CONTENTS

JERZY GAŻDZICKI — WOJCIECH JANUSZ	
The simultaneous adjusting the nodal elements in polygonal nets . .	258
JERZY SZYMOŃSKI	
An examination of the horizontal circular scale and the stability of the vertical axis of Zeiss's precise theodolite Theo 010	287

