

ZOFIA MAJDANOWA
ANDRZEJ TORUŃSKI

528.517

Dalmierz świetlny „Kristal” i możliwości jego zastosowania w pracach geodezyjnych

1. Wstęp

Dalmierz świetlny „Kristal” jest instrumentem o oryginalnej konstrukcji, opracowanym i zbudowanym w Centralnym Naukowo-Badawczym Instytucie Geodezji Fotogrametrii i Kartografii (CNIIGAiK) w Moskwie. Zgodnie z umową pomiędzy służbami geodezyjnymi Polski i Związku Radzieckiego o współpracy resortowych instytutów, jeden z pierwszych egzemplarzy serii prototypowej tego instrumentu został przekazany wiosną 1967 roku do Instytutu Geodezji i Kartografii, w celu przeprowadzenia jego badań. Opracowanie niniejsze jest rezultatem przeprowadzonych w okresie około 10 miesięcy badań laboratoryjnych i polowych, a także prób eksploatacyjnych na jednym z obiektów mierzonym przez Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjne.

Ze względu na parametry użytkowe „Kristal” należy do dalmierzy małych. Jego zasięg zawiera się w przedziale od 100 m do 5 000 m, a błąd wyznaczenia boku został określony wstępnie na 3 do 5 cm.

W skład kompletu dalmierza wchodzi następujące części:

- | | | |
|-----------------------------------------|----|----------|
| 1. Instrument | — | 6 kg |
| 2. Przetwornica | — | 1,5 kg |
| 3. Skrzynka transportowa z wyposażeniem | — | 6,5 kg |
| 4. Dwa akumulatory | po | — 20 kg |
| 5. Trzy statywy | po | — 5,3 kg |
| 6. Lustro | — | 2,6 kg |
| 7. Prostownik do ładowania akumulatorów | — | 4,5 kg |

Pomiary można wykonywać w różnych porach dnia i w nocy, z założeniem, że jest dostateczna widoczność między stanowiskami instrumentu i lustra. Najbardziej korzystne warunki do pracy są w dni pochmurne z lekkim wiatrem. Zakres temperatur w jakich dalmierz ten może praco-

wać jest bardzo szeroki, bo od -15°C do $+30^{\circ}\text{C}$. Źródłem światła jest lampa żarowa o mocy 3,5 W.

We wszystkich dalmierzach świetlnych pomiar odległości sprowadza się do określenia podwójnego czasu przebiegu światła modulowanego t pomiędzy instrumentem ustawionym na jednym końcu mierzonego odcinka, a zwierciadłem ustawionym na drugim jego końcu. Pomiar czasu przebiegu sygnału świetlnego może być zrealizowany dwoma sposobami:

- 1) przez pomiar częstotliwości, która stanowi podwielokrotność szukanej odległości,
- 2) przez pomiar różnicy faz zmodulowanego światła wysyłanego i odbitego od luster.

Dalmierz świetlny „Kristal” należy do grupy, w której t jest mierzone sposobem podanym w punkcie 1. Odległość obliczamy z wzoru

$$D = C \cdot \frac{t}{2}$$

gdzie: C — prędkość światła w próżni,
 t — czas przebiegu sygnału świetlnego.

Prędkość światła w próżni jest wartością znaną wielokrotnie wyznaczaną przez fizyków. Wielkość ta zalecana przez MUGG w 1957 roku wynosi: $C = 299\,792$ km/sek. Nie jest to jednak wartość stała i zależy od warunków meteorologicznych na trasie przebiegu fali świetlnej takich jak: temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne. Następnym więc problemem jest określenie prędkości światła w warunkach pomiaru.

Jeśli zastosujemy wzór

$$\frac{C}{v} = n, \quad v = \frac{C}{n}$$

gdzie:

v — prędkość światła w warunkach pomiaru,

n — wskaźnik refrakcji (współczynnik załamania powietrza),

i wyznaczymy wartość n , to możemy określić prędkość światła w warunkach aktualnych. Bez rozpatrywania tego skomplikowanego zagadnienia, można podać wzór empiryczny na obliczenie współczynnika refrakcji

$$n = 1 + \frac{n_0 - 1}{1 + t} \cdot \frac{p}{760} - \frac{55 \cdot 10^{-9}}{1 + t} \cdot e$$

gdzie:

n_0 — wskaźnik refrakcji dla powietrza suchego przy temperaturze $t = 0^{\circ}\text{C}$ i ciśnieniu $p = 760$ mm Hg,

e — $f(t, t', p)$ wilgotność powietrza w mm/Hg,

t — temperatura powietrza w $^{\circ}\text{C}$,

t' — temperatura termometru wilgotnego w $^{\circ}\text{C}$,

p — ciśnienie atmosferyczne w mm Hg.

Jak wynika z powyższego wzoru w celu jego obliczenia musimy znać wartości t , t' i p . Obydwie temperatury t i t' mierzymy aspiracyjnym psychrometrem Assmanna, który zapewnia dokładność odczytów $0,1^{\circ}\text{C}$, p należy mierzyć aneroidem zabezpieczającym dokładność odczytu $0,5\text{ mm Hg}$. Po obliczeniu wskaźnika refrakcji wg wzoru podanego wyżej, wprowadzamy jego wartość do wzoru poprzedniego i otrzymujemy

$$D = \frac{C \cdot t}{2n}.$$

Dalmierzami elektromagnetycznymi mierzymy odległość pochyłą pomiędzy środkiem instrumentu a środkiem luster, musimy więc wprowadzić następujące redukcje geodezyjne:

- 1) za różnice wysokości stanowisk instrumentu i luster (redukcja do poziomu),
- 2) na średni poziom morza,
- 3) za krzywiznę promienia świetlnego i krzywiznę Ziemi,
- 4) za odchylenie pionów,
- 5) redukcje odwzorowawcze.

Ze względu na to, iż „Kristal” mierzy odległości krótkie (do 5 km) z powyższych redukcji uwzględnia się tylko łączną redukcję wymienioną w punkcie 1 i 2, przyjmując jedynie pierwsze wyrazy rozwinięcia.

$$D_o = \frac{h^2}{2D} - \frac{H_m \cdot D}{R}$$

gdzie:

- h — różnica wysokości dwóch stanowisk,
- H_m — średnia wysokość dwóch stanowisk,
- R — promień Ziemi,
- D — długość pomierzona dalmierzem.

W zależności od sposobu opracowywania wyników wprowadza się też odpowiednie poprawki odwzorowawcze.

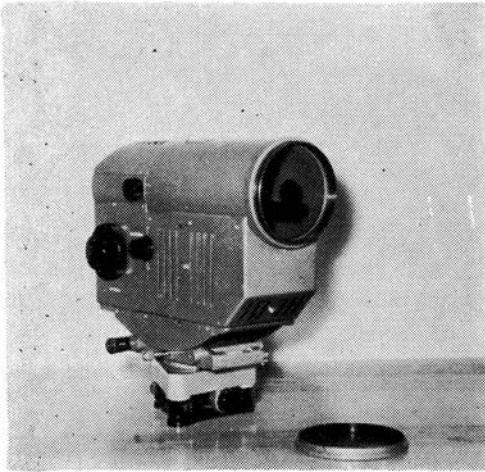
2. Budowa i zasada działania dalmierza

Jak wspomnieliśmy „Kristal” należy do grupy instrumentów, w których czas przebiegu sygnału świetlnego otrzymywany jest z określenia częstotliwości odpowiadającej długości fali, stanowiącej pełną podwielokrotność szukanej odległości.

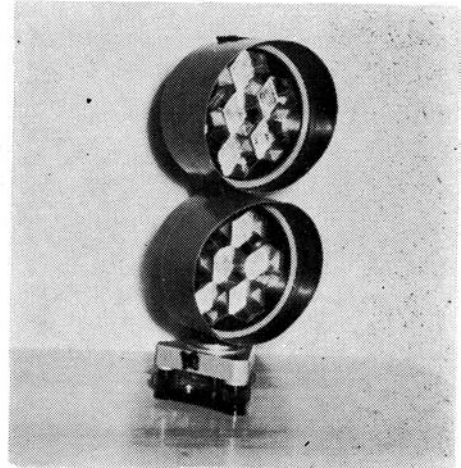
W grupie tej istnieje dalszy podział na dwa typy instrumentów:

a) w których odbiór sygnałów odbitego i porównanie jego z sygnałem wysyłanym następuje na drodze elektrycznej,

b) w których tak jak w przypadku „Krystała” następuje to na drodze wizualnej obserwacji zaniku sygnału.



Rys. 1



Rys. 2

Istotną zmianą konstrukcyjną dalmierza „Krystała” w stosunku do modeli wcześniejszych, jest połączenie w jeden, układów optycznych nadajnika i odbiornika. Najważniejszymi zaletami takiego zjednoczonego układu optycznego są:

1. Prosty sposób użycia tego samego modulatora (w przypadku „Krystała” komórki Kerra) do modulacji i demodulacji sygnału świetlnego, co stwarza idealne podobieństwo kanału nadawczego i odbiorczego; części elektryczne układu są wolne od indywidualnych poprawek, a pozostają jedynie poprawki elementów geometrycznych układu.

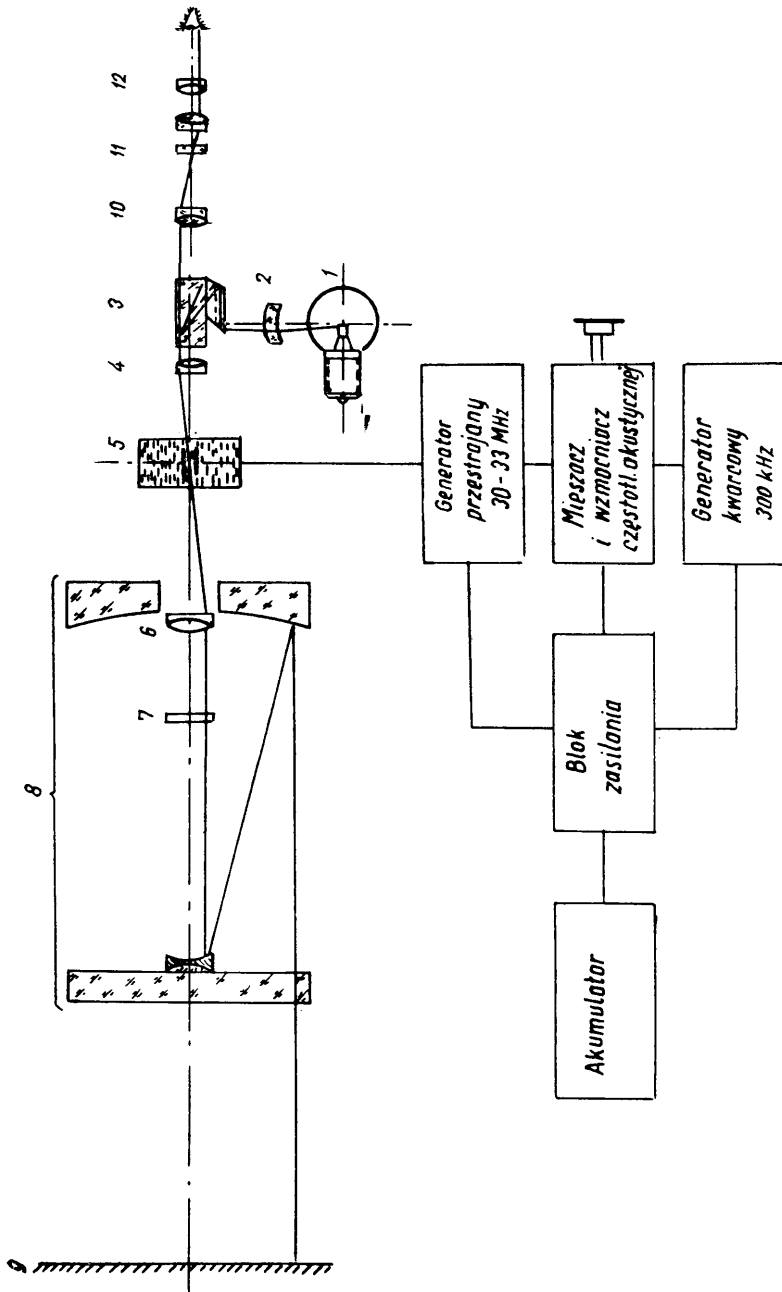
2. Podczas pomiaru krótkich odległości, maksimum promieniowania odbitego przechodzi do kanału odbiorczego (brak paralaksy pomiędzy układem nadajnika i odbiornika).

3. Brak konieczności wzajemnej orientacji kanału nadawczego i odbiorczego (uproszczone justowanie instrumentu).

4. Zasadnicze zmniejszenie rozmiaru i ciężaru instrumentu.

Bieg promienia świetlnego w układzie optycznym dalmierza przedstawiony jest na rysunku 3.

Promień od źródła światła 1, przechodzi przez kondensator 2, bipolaryzator 3 (po drodze promienia zwyczajnego), pierwszy obiektyw systemu skręcającego 4, komórkę Kerra 5, obiektyw ogniskujący 6, ćwierćfalową płytkę 7 skręcającą płaszczyznę polaryzacji przy każdym przejściu o 45°



Rys. 3. Schemat dalmierza świetlnego „Kryształ”

i zwierciadlano-soczewkowy system teleskopowy 8 kieruje go do zwierciadła 9. Po odbiciu od zwierciadła 9 promień znów przechodzi przez elementy 8, 7, 6, komórkę Kerra (gdzie ulega demodulacji), obiektyw systemu skręcającego 10 i w płaszczyźnie siatki 11 tworzy obraz zwierciadła, które obserwuje się okiem przez okular 12. Do elektrod komórki Kerra przyłożone jest stałe polaryzujące napięcie z bloku zasilania i zmienne napięcie wysokiej częstotliwości z generatora [LC] modulującego napięcie. Częstotliwość generatora może być zmieniana w sposób ciągły od 30 do 33 MHz. Dzięki takiemu układowi jedna komórka Kerra użyta jest jednocześnie jako modulator i demodulator promienia światła. Dla zmiany częstotliwości modulującej zastosowano kondensator o zmiennej pojemności. Do osi rotora kondensatora przymocowany jest szklany limbus z podziałką, której odczyty mogą być przeliczone za pomocą odpowiednio opracowanych tablic kalibracyjnych na wartości częstotliwości modulującej. Dla kontroli skali generatora częstotliwości modulującej instrument ma urządzenie kalibracyjne, które tworzy w zakresie 30 do 33 MHz 11 punktów kalibracji (punkty kwarcowe) uzyskanych za pomocą generatora kwarcowego 300 kHz. Sygnał z tego generatora i sygnał częstotliwości modulującej doprowadza się do mieszacza, na wyjściu którego otrzymuje się częstotliwość różnicową w zakresie częstotliwości akustycznych, przekazywaną przez wzmacniacz do słuchawek.

Przy zrównaniu się modulacyjnej częstotliwości z częstotliwością jednej z harmonicznym 300 kHz obserwujemy zero dudnień (dźwięk w słuchawkach zanika).

Obserwując sygnał odbity od zwierciadła oddalonego o odległość D , możemy zmieniając częstotliwość modulującą f doprowadzić do pełnego wygaszenia wiązki światła. Ta właśnie częstotliwość f_1 odpowiadać będzie długości fali λ_1 , która mieści się bez reszty w odległości $2D$, czyli nastąpi równość:

$$2D = N \cdot \lambda_1 = N \cdot \frac{v}{f_1}.$$

Faza modulacji na drodze jednej długości fali zmieniać się będzie od 0 do 2π . Przy występowaniu fazy 0, lub $2n\pi$ następuje wygaszenie światła (minimum), które rejestruje się przez odczyt z falomierza. Przy dalszej ciągłej zmianie częstotliwości f znowu osiągniemy minimum światła.

Nastąpi to wtedy gdy

$$2D = (N+1)\lambda_2 = (N+1)\frac{v}{f_2}.$$

Na podstawie dwóch ostatnich wzorów obliczymy ilość N pełnych okresów fali:

$$N = \frac{f_1}{f_2 - f_1}, \text{ lub po obserwacji } n \text{ kolejnych minimów}$$

$$N = n \cdot \frac{f_1}{f_2 - f_1}.$$

Wyznaczając w ten sposób N oraz znając długość fali λ odpowiadającą określonej częstotliwości f , możemy odległość D obliczyć n -krotnie. Pomiar polega na wykonaniu odczytów falomierza generatora LC odpowiadającego wybranym minimum sygnału świetlnego oraz odpowiadającym im (ograniczającym je) punktom kwarcowym. Z ułożonych poprzednio tablic kalibracyjnych otrzymujemy wartości częstotliwości odpowiadające zaobserwowanym minimum.

Ilość minimum jakie można zaobserwować w zakresie przestrajania generatora LC (30—33 MHz) wyznacza zakres odległości mierzonej dalmierzem od 100 m do 5 000 m niezależnie od warunków atmosferycznych.

Dokładność instrumentu zależy głównie od precyzji określenia minimum światła i od określenia częstotliwości modulacyjnej. Wynika to z analizy podstawowego wzoru dalmierza

$$D = \frac{\lambda}{2} N,$$

przechodząc do przyrostów otrzymamy:

$$\Delta D = \frac{N}{2} \Delta \lambda + \frac{\lambda}{2} \Delta N,$$

składnik $\frac{\lambda}{2} \Delta N = 0$, ponieważ pomiar wykonuje się na pełnych długościach fal i wówczas $\Delta N = 0$, a N jest zawsze liczbą całkowitą.

Przechodząc do wyrażenia względnego otrzymamy

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{\lambda} \Delta \lambda.$$

Wyraz $\frac{1}{\lambda}$ można uważać za stały $\left(\frac{\lambda}{2} \sim 5 \text{ m}\right)$ nie mający wpływu na dokładność pomiaru, natomiast $\Delta \lambda$ zmienia się na różnych odległościach i decyduje o dokładności pomiaru. Dla przykładu można podać, że w odstępnie od jednego minimum do następnego dla $D = 100 \text{ m}$, $\Delta \lambda = 0,376 \text{ m}$, a dla $D = 4 \text{ km}$, $\Delta \lambda = 0,013 \text{ m}$. Jeśli więc zjawisko minimum rejestruje się z jednakową czułością świetlną, to bok długości 4 km może być zmierzony 29 razy dokładniej niż bok 100 m. Wniosek ten potwierdza się w tablicy 3, z wykonanych pomiarów na bazach doświadczalnych.

3. Badania dalmierza świetlnego „Kryształ”

Przeprowadzone badania miały na celu sprawdzenie podstawowych parametrów instrumentu (elektrycznych i geometrycznych), poprawek instrumentu i wartości użytkowe instrumentu. W związku z tym wykonane kontrole można podzielić na dwa etapy:

- a) badania laboratoryjne,
- b) badania polowe.

Badania laboratoryjne objęły poza ogólnym sprawdzeniem wszystkich podstawowych podzespołów elektronicznych instrumentu, przede wszystkim badanie dokładności generatora kwarcowego i falomierza.

Stażość częstotliwości wzorcowej emitowanej przez generator kwarcowy ma decydujące znaczenie dla dokładności pomiaru. Generator badano przez porównanie jego częstotliwości z częstotliwością wzorcową Obserwatorium IGiK w Borowej Górze o dokładności $1 \cdot 10^{-8}$. Na podstawie wielokrotnych porównań wykonanych w ciągu około 10 miesięcy stwierdzono, że podstawowa częstotliwość 300 kHz zmienia się w granicach $\pm 2 \cdot 10^{-6}$, co w pełni zabezpiecza wymaganą dokładność pomiaru.

Współbieżność częstotliwości przestrajanego generatora LC ze skalą odczytową instrumentu kontrolowano dwoma sposobami:

- a) sprawdzając rozmieszczenie punktów kwarcowych na skali odczytowej,
- b) bezpośrednio mierząc częstotliwości generatora LC.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że istnieje rozbieżność pomiędzy częstotliwościami pomierzonymi i podanymi w tablicach kalibracyjnych dla określonych działek skali odczytowej falomierza. Pomiar częstotliwości powtarzano wielokrotnie w ciągu miesiąca, a następnie wykonywano je co miesiąc. Zaobserwowano wzrost rozbieżności z tablicami kalibracyjnymi do wartości 27 kHz, przebiegający nieregularnie w czasie. W celu usunięcia tej nieprawidłowości wymieniono lampę 6Ż1P w układzie generatora LC i trymerem regulacyjnym doprowadzono częstotliwości do wartości podanych w tablicach kalibracyjnych. Wyszczególnione w punkcie a i b pomiary kontrolne zestawiono w tablicach 1 i 2.

Niewygodny dostęp do trymera regulacyjnego utrudnia wykonanie regulacji, dlatego wydaje się celowe, aby w przyszłych konstrukcjach wprowadzić jego oś na zewnątrz.

Wstępne badania laboratoryjne wykazały nieprawidłowe działanie przetwornicy dalmierza. Na skutek przebicia dwóch diod D7Ż w układzie prostowania napięcia 150V, uszkodzony został tranzystor P210A.

W związku z tym wymieniono uszkodzony tranzystor oraz wszystkie diody germanowe D7Ż, jako mało sprawne na diody krzemowe DK62. Ponadto w celu poprawienia niezawodności pracy przetwornicy w układzie

TABLICA 1

Odczyt skali	Częstotliwość wg tabl. kalibr. (kHz)	Zmiana częstotliwości = $f_{kal} - f_{pom}$ (kHz)									
		7. 07.	8. 07.	10. 07.	11. 07.	25. 07.	25. 07.	24. 08.	19. 09.	19. 09.	19. 09.
4	29 986,3	+9,6	+15,7	+21,0	+22,4	+18,4		-4,8	-5,2		-2,5
10	30 064,1	9,3	17,7	21,3	22,6	18,5		5,2	5,5		-0,1
20	30 223,1	10,1	17,5	20,9	21,0	20,9		2,1	5,8		+0,2
30	30 380,4	11,0	18,1	21,5	23,4	18,6		3,9	4,8		+1,2
40	30 546,7	11,5	18,8	22,6	24,0	19,3		4,5	4,9		+0,9
50	30 724,8	12,0	19,0	23,0	23,7	19,4		4,6	4,8		+0,8
60	30 901,9	10,9	17,7	21,7	22,8	18,5		6,5	5,8		-0,6
70	31 068,5	11,2	17,8	21,6	22,3	18,7		6,8	5,5		-0,1
80	31 232,3	10,7	17,2	21,4	22,4	18,1		8,2	6,6		-1,6
90	31 395,7	11,4	18,0	22,5	23,1	19,0		8,4	4,4		+0,4
100	31 563,6	11,8	18,6	23,9	24,2	20,4		5,4	3,8		+0,8
110	31 734,0	13,0	19,9	25,4	25,3	22,6		7,5	3,9		+1,2
120	31 907,8	13,7	22,3	25,7	26,7	22,7		5,8	4,3		+0,9
130	32 091,7	13,6	21,6	26,9	26,8	22,6		6,0	3,9		+0,1

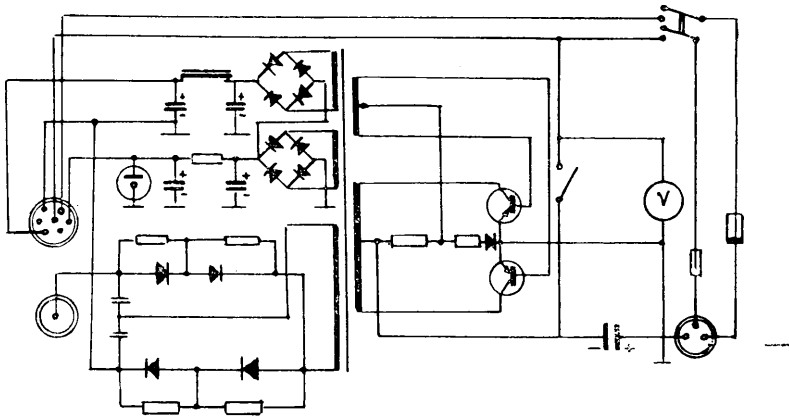
Poprawiono częstotliwości do wskazań
tabl. kalibr.

Poprawiono częstotliwości do wskazań
tabl. kalibr.

TABLICA 2

Lp.	Położenie p. k. wg tabl. kalibr.	Zmiany położenia p. k. $O_{kal} - O_{pom}$				
		19. 09.	19. 09.	19. 09.	19. 02.	16. 04.
1	5,56	-0,37	Poprawiono częstotliwości do wskazań tablic kalibracyjnych	-0,02	-0,20	-0,12
2	24,89	0,24		-0,01	0,13	0,14
3	43,00	0,21		0,00	0,06	0,08
4	59,90	0,26		+0,01	0,08	0,11
5	78,07	0,31		+0,03	0,12	0,11
6	96,22	0,23		+0,02	0,18	0,03
7	113,88	0,20		+0,01	0,03	0,02
8	130,44	0,19		+0,01	0,06	0,06
9	145,73	0,30		0,00	0,12	0,12
10	166,66	0,24		-0,01	0,06	0,14
11	174,97	0,27		-0,02	0,06	0,15

prostowania napięcia 1200V w miejsce 8 diod D7Ż wstawiono 4 diody krzemowe DK62. Diody zabezpieczono przez równoległe dołączenie oporów 2,2 MΩ. W przetwornicy wymieniono poza tym wyłączniki wysokiego i niskiego napięcia a dla poprawienia warunków jej pracy, wmontowano układ startera na diodzie D7Ż. Przetwornica o tak zmienionym układzie (rys. 4) pracowała niezawodnie przez cały czas eksploatacji dalmierza.



Rys. 4. Schemat ideowy przerobionej przetwornicy

Badania geodezyjne dalmierzy stanowią najważniejszą część badań, ponieważ wyniki ich decydują o prawidłowej ocenie dokładności i przydatności instrumentu w pracach geodezyjnych.

Badanie obejmowało:

- 1) sprawdzenie stałej poprawki instrumentu i zwierciadeł,
- 2) ocenę dokładności dalmierza,

3) ocenę funkcjonowania aparatury w różnych warunkach atmosferycznych oraz podczas intensywnej eksploatacji.

Określenie tych danych pozwala na wyciągnięcie wniosku co do najwłaściwszego zastosowania instrumentu w pracach geodezyjnych.

W każdym instrumencie elektromagnetycznym istnieje zagadnienie wyznaczenia stałej poprawki instrumentu. Stała poprawka w dalmierzu świetlnym „Kristał” posiada czysto geometryczny charakter i wyraża różnicę między centrem geodezyjnym w instrumencie a jego środkiem geometrycznym. Ze względu na to, że w dalmierzu nie zależy ona od takich czynników jak różna bezwładność modulująca i demodulująca komórki Kerra, różne czasy przejścia sygnału elektrycznego od generatora przez oba kondensatory, może być wyznaczona raz, a potem bez zmian przyjmowana do obliczeń.

Wyznacza się ją zwykle na znanej z dużą dokładnością odległości, przy zmianie ustawienia na niej luster. Wyznaczona powtórnie w Zakładzie Pomiarów Podstawowych nie różni się niczym od podanej przez producenta w metryce instrumentu i wynosi $K_i = -0,398$ m. Lustra odbijające promień świetlny są zestawem 7 trójściennych pryzmatów umieszczonych we wspólnej obudowie. Poprawka ich jest różnicą między centrem luster a powierzchnią odbijającą. Poprawka ta wynika z konstrukcji luster i nie musi być wyznaczana doświadczalnie. Określona została przez producenta w wysokości $K_i = -0,040$ m.

Sposób przeprowadzenia badań polowych powinien uwzględnić możliwość określenia:

a) dokładności instrumentu wyrażonej błędem średnim lub względnym, które można uzyskać bądź z wielokrotnych pomiarów odcinków o znanej długości, bądź z niezależnego wyrównania pomierzonej sieci liniowej,

b) zależności błędu pomiaru od długości mierzonego odcinka, którą można wyznaczyć przez pomiar odcinków w pełnym zakresie odległości (od 100 m do 5 000 m),

c) koniecznej ilości serii pomiarów linii, której przekroczenie nie zwiększa praktycznie dokładności pomiaru.

Istotną cechą charakteryzującą dalmierz jest ogólna dokładność pomiaru. Jednym z czynników określającym dokładność pomiaru „Kristałem” jest dokładność ustalenia minimum sygnału świetlnego.

W dalmierzach o wizualnym określeniu minimum sygnału o rozdzielonym nadajniku i odbiorniku (np. SWW-1) dokładność określenia minimum określana jest teoretycznie, a następnie sprawdzana doświadczalnie. W dalmierzu takim jak „Kristał” ze zjednoczonym układem nadajnika i odbiornika z kompensacyjnym sposobem określenia fazy, dokładność określenia minimum może być wyznaczona jedynie eksperymentalnie.

W CNIIGAiK-u wielkość tę wyznaczono w sposób następujący: Na jednym końcu linii o długości 167 m ustawiono instrument, na drugim łacie, po której przesuwano jeden element lustra. Pomocnik obserwatora przesuwał lustro po łacie aż do ustalenia przez obserwatora momentu minimum. Punkt ten wyznaczano przy przesunięciu lustra raz w kierunku do instrumentu i raz w przeciwnym. Dla uniknięcia błędów związanych z niestabilnością częstotliwości modulacji, pomiar przeprowadzono na jednej ustalonej częstotliwości (109 harmoniczna generatora kwarcowego). W pracy wzięło udział 4 obserwatorów, z których każdy wykonał 20 wyznaczeń minimum. W rezultacie otrzymano wartość średniego błędu pojedynczego ustalenia minimum równą $\pm 7,1$ cm. Po wyrównaniu wyników otrzymanych przez różnych obserwatorów nie stwierdzono występowania systematycznego błędu osobowego.

Wyznaczenia błędu określenia minimum można dokonać w inny sposób, wyrażając go podobnie w cm. W tym celu należy dla danego odczytu skali określić z tablic kalibracyjnych zmianę długości $\lambda/2$ odpowiadającą błędowi określenia minimum, wyrażonego w podziałkach skali i wyznaczonego z wielokrotnych obserwacji tego samego minimum. Po przemnożeniu przez odpowiednie dla danej odległości N otrzymamy szukany błąd wyrażony w centymetrach. Podczas przeprowadzonych badań wyznaczenia takie, wykonane były wielokrotnie na różnych odległościach i przez różnych obserwatorów. W rezultacie otrzymano:

dla 250 m	± 16 cm
1200 m	± 5 cm
3800 m	± 13 cm

Wielkości te są wyższe niż rezultat podany poprzednio, wskazują one jednak na ważny fakt, na który zwracają uwagę wszyscy obserwatorzy, iż najlepsze rezultaty uzyskuje się przy średnich odległościach.

Dokładność pomiaru instrumentem określona została z wyników pomiarów baz o długości od 120 do 3 750 m. Wyniki te zestawione zostały w tablicy 3. Na tej podstawie wyciągnąć można następujące wnioski:

1. Średni błąd pomiaru odległości nie zależy od odległości mierzonego odcinka i wynosi nie więcej niż $m_{sr} = \pm 2,5$ cm, tym samym błąd względny maleje wraz ze wzrostem mierzonej odległości.

2. Średni błąd praktycznie nie maleje wraz ze zwiększaniem się ilości serii pomiarowej. W praktyce więc zalecić można wykonywanie dwóch do trzech serii.

3. Średni błąd wewnętrzny serii pomiarowej nie powinien przekraczać 4 cm. W przeciwnym wypadku serię należy powtórzyć.

TABLICA 3

Lp.	Data	D' m	m_o mm	D_{sr} m	v mm	D_o m	M mm	Błąd względny
1	II. 68	120,806	10		-2			
2	„	,846	5	120,804	-42	120,820	-16	1 : 7 000
3	„	,808	18		-4			
4	„	,754	35		+50			
5	VI. 67	273,390	20		+9			
6	„	,410	33	273,399	-11	273,376	+23	1 : 12 000
7	„	,396	03		+3			
8	XI. 67	286,442	21		-12			
9	II. 68	,404	15	286,430	+26	286,452	-22	1 : 12 000
10	„	,442	04		-12			
11	„	,431	20		-1			
12	VI. 67	332,036	27		-6			
13	„	,025	20		+7			
14	„	,012	18		+20			
15	„	,031	20		+1			
16	„	,017	17	332,032	+15	332,021	+11	1 : 30 000
17	„	,035	18		-5			
18	„	,029	20		+3			
19	„	,045	14		-13			
20	„	,052	02		-20			
21	VII. 67	,040	18		-8			
22	„	,034	22		-2			
23	„	,024	14		+8			
24	II. 68	508,254	31					
25	„	,136	13		+8			
26	„	,148	25		-4			
27	„	,153	49		-7			
28	„	,118	24	508,144	+27	508,128	+16	1 : 32 000
29	„	,109	25		+35			
30	„	,162	11		-18			
31	„	,175	22		-31			
32	VII. 67	712,651	19		+8			
33	„	,662	24		-3			
34	„	,642	18	712,659	+10	712,640	+21	1 : 36 000
35	II. 68	,680	21		-21			
36	„	,655	39		-4			
37	II. 68	1253,298	34		+8			
38	„	,299	64	1253,306	+7	1253,282	+24	1 : 52 000
39	„	,321	36		-15			
40	II. 68	2655,994	33	2655,994	+4	2655,959	+24	1 : 76 000
41	„	,999	35		-5			
42	II. 68	3748,322	34	3748,322	—	3748,310	+11	1 : 340 000

Oznaczenia: D — odległość pomierzona dalmierzem „Kristal”

m_o — błąd średni pojedynczej serii

$v = D_{sr} - D'$ — poprawka

D_o — długość wzorcowa

$M = D_{sr} - D_o$

Ponadto zaleca się wykonywanie serii na różnych programach, aby nie sugerować się odczytami wcześniej wykonanych serii, co jest odruchowe przy wykonywaniu 16 lub 32 odczytów tego samego minimum.

W celu określenia sprawności instrumentu badania wykonywano w różnych warunkach meteorologicznych w ciągu całego roku. Praca aparatury dalmierza w temperaturach od -15 do $+30^{\circ}\text{C}$ nie nasuwa żadnych kłopotów. Jednakże wykonywanie pomiarów w temperaturze poniżej minus 5° jest utrudnione, ponieważ nagrzewanie instrumentu przeciąga się ponad 1 godzinę, a ponadto obserwowane minimum na mrozie powoduje łzawienie oka. W temperaturach od $+5$ do $+20^{\circ}\text{C}$ dalmierz pracował dziennie do 10 godzin, nie wykazując żadnych niesprawności. Do niewątpliwych zalet dalmierza należy jego prosta konstrukcja w porównaniu z innymi tego typu urządzeniami oraz to, że dzięki będącym w wyposażeniu narzędziom i częściom zamiennym można w polu łatwo i szybko usunąć jego drobne uszkodzenia.

Pomiar dalmierzem można wykonywać w różnych porach dnia i roku przy istnieniu wystarczającej widoczności. Przeszkodę w pomiarach mogą stanowić opady deszczu i śniegu oraz występowanie wibracji powietrza utrudniające ustalenie minimum. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów ustalono, że instrument może pracować w następujących warunkach:

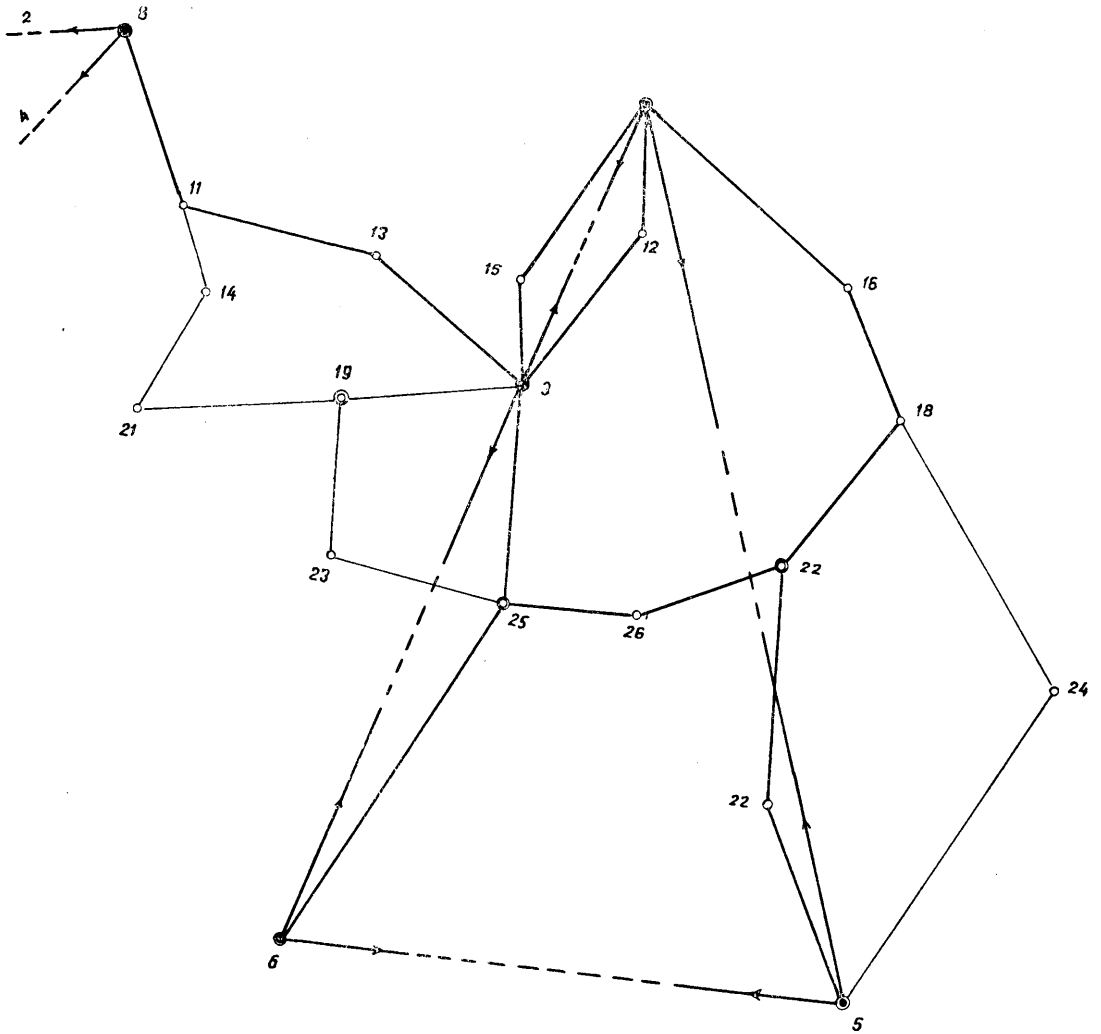
- a) w dni słoneczne (w godzinach południowych) zasięg do 800 m,
- b) w dni pochmurne oraz słoneczne na godzinę przed zachodem słońca do 2 500 m,
- c) nocą do 5 000 m.

Dalmierz świetlny „Kristał” ze względu na uzyskiwane dokładności i zasięg może być stosowany przy wykonywaniu osnów miejskich, zdjęć wielkoskalowych oraz przy pracach inżynierskich i poszukiwawczych. Zastosowanie dalmierza do poligonizacji ułatwiają wymienne spodarki instrumentu i luster identyczne z spodarkami teodolitu, umożliwiające pracę metodą „trzech statywów”.

4. Zastosowanie dalmierza „Kristał” do pomiarów sieci miejskiej

Przeprowadzone przez nas badania geodezyjne i ocena dokładności pomiarów, jak również doświadczenia wykonane w ZSRR, pozwoliły wysunąć wniosek, że dalmierz świetlny „Kristał” w zupełności odpowiada założeniom technicznym jakie stawiają miejskie osnowy geodezyjne. W Związku Radzieckim wykonano pomiar kilkuset boków w osnowie miejskiej. Za podstawę do porównania długości przyjęto boki z triangulacji. Jako wnioski podano, że odległości powyżej 250 m mogą być mierzone z dokładnością potrzebną w poligonizacji precyzyjnej, a więc z błędem względnym mniejszym niż $1 : 30\,000$. Dotychczas wyznaczenia punktów w sieciach miejskich wykonywano metodami klasycznymi, a więc wcięciami w przód, wstecz oraz kombinowanymi w oparciu o punkty wyższej klasy.

SZKIC SIĘCI MIEJSKIEJ



- ciąg I rzędu
- ciąg II rzędu
- ⊙ punkt węzłowy
- punkt nowizowania

Obowiązujące instrukcje w tym zakresie przewidywały ostre kryteria odnośnie sposobu wyznaczenia i kontroli punktów, co z kolei powodowało niejednokrotnie konieczność dość wysokiej zabudowy punktów wieżami lub sygnałami triangulacyjnymi, a więc znaczny wzrost kosztów.

Przy założeniu, że w tego typu sieciach błąd położenia punktu dla kategorii terenu A i B wynosi $m_p = \pm 0,05$ m, a dla terenów pozostałych kategorii $m_p = \pm 0,08$ m, zważywszy poza tym, że są to punkty na budowach stałych, już wstępnie można było przypuszczać, że zastosowanie metody poligonizacji przy użyciu odpowiedniego dalmierza pozwoli zaoszczędzić nie tylko w kosztach produkcyjnych, ale również podwyższyć w niektórych przypadkach dokładność wyznaczenia punktów (przy przeniesieniach punktów niedostępnych).

Poligonizacja projektowana w osnowach miejskich przy użyciu do pomiarów odległości dalmierza świetlnego odpowiadałaby dokładności klasycznej poligonizacji precyzyjnej, różnicą byłyby tylko dużo dłuższe boki. W metodzie tej grupę punktów triangulacyjnych nawiązanych do wielu punktów wyższej klasy zastępowały ciągi poligonowe nawiązane do dwóch punktów. Zaprojektowana została w wyżej podany sposób sieć miejska, składająca się z poligonów zbliżonych do prostoliniowych, obustronnie nawiązanych do punktów triangulacyjnych. Dla wyznaczenia 16 nowych punktów zaprojektowano pomiar 24 boków o długościach w granicach od 0,9 do 2,7 km. W celu zabezpieczenia dokładności wyznaczanych punktów postanowiono zwiększyć liczbę serii pomiarowych do 3, stosując jako kryterium dokładnościowe wewnętrzny błąd serii nie większy niż 4 cm. W niektórych przypadkach dopuszczono do obliczenia boku ostatecznego z dwóch serii. Kąty załamania w ciągach poligonowych po przeanalizowaniu zadania postanowiono mierzyć w 6 poczetach teodolitem Wild T3, lub w 8 poczetach teodolitem Wild T2. Pomiary wykonywał zespół Państwowego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego, który uprzednio przeszkolony został w Zakładzie Pomiarów Podstawowych. Skład zespołu ustalono następująco:

- 1) kierownik zespołu — inż. geodeta,
- 2) młodszy geodeta,
- 3) dwóch pracowników fizycznych.

Jako środek lokomocji zaproponowano mały samochód terenowy np. GAZ-69.

Prace terenowe wykonywane były w dość trudnych warunkach atmosferycznych wczesną wiosną, przy zmiennej pogodzie i dużych różnicach temperatur między dniem a nocą. Jako zasadę przyjęto, że pomiar będzie wykonywało 2 obserwatorów na zmianę w celu uniknięcia błędów osobowych, co przy małej praktyce obserwatorów mogło by mieć miejsce. W praktyce okazało się, że niejednokrotnie obserwatorzy musieli powta-

TABLICA 4

Lp.	Nr boku	Nr serii	D_0 - pom. D_{sr} m	m_s cm	$v =$ $D_{sr} - D_0$ cm	$M_0 =$ $\pm \sqrt{[vv]}$ $n(n-1)$	Lp.	Nr boku	Nr serii	D_0 - pom. D_{sr} m	m_s cm	$v =$ $D_{sr} - D_0$ cm	$M_0 =$ $\pm \sqrt{[vv]}$ $n(n-1)$
1	11-13	1	1654,248	1,6	+0,2		13	25-6	1	2487,137	4,0	-0,1	
		2	253	2,8	-0,3				2	138	2,2	-	
		śr.	1654,250			0,2			śr.	2487,138			0,1
2	14e-11	1	952,717	1,8	-3,8		14	27-5	1	1195,225	1,4	+2,6	
		2	651	3,3	+2,8				2	263	1,8	-1,8	
		3	681	2,5	-0,2				3	265	1,8	-2,0	
		4	669	3,4	+1,0				4	226	1,6	+1,9	
		śr.	952,679			1,4		śr.	1195,245			1,1	
3	16-18	1	1019,622	2,0	-1,9		15	27-22	1	1750,200	1,3	-	
		2	614	1,8	-1,1				2	189	1,6	+1,1	
		3	574	0,8	+2,9				3	212	2,7	-1,2	
		śr.	1019,603			1,5		śr.	1750,200			0,7	
4	16-1	1	2525,890	3,0	+1,1		16	26-22	1	1572,742	3,2	+1,7	
		2	917	3,6	-1,6				2	785	2,9	-2,6	
		3	896	3,8	+0,5				3	751	3,2	+0,8	
		śr.	2525,901			0,8		śr.	1572,759			1,3	
5	23-25	1	1210,893	2,4	-1,0		17	26-25	1	1609,550	3,2	+3,0	
		2	879	2,4	+0,4				2	613	3,4	-3,3	
		3	877	2,6	+0,6				3	578	0,6	+0,2	
		śr.	1210,883			0,5		śr.	1609,580			1,8	
6	23-19	1	1339,566	1,3	+0,7		18	8-11	1	1791,188	3,6	+2,7	
		2	561	0,7	+1,2				2	238	2,8	-2,3	
		3	592	1,6	-1,9				3	219	1,8	-0,4	
		śr.	1339,573			1,0		śr.	1791,215			1,5	
7	1-12	1	1130,339	2,2	+2,9		19	18-22	1	1345,648	3,5	+2,6	
		2	404	0,9	-3,6				2	681	2,7	-0,7	
		3	346	1,9	+2,2				3	652	2,2	+2,2	
		4	391	1,2	-2,3				4	688	2,6	-1,4	
		5	360	1,2	+0,8				5	701	1,6	-2,7	
		śr.	1130,368			1,3		śr.	1345,674			1,0	
8	1-15	1	2236,533	2,1	+0,1		20	24-18	1	2328,192	2,7	+1,5	
		2	557	2,7	-2,3				2	201	1,9	+0,6	
		3	515	1,3	+1,9				3	219	2,2	-1,2	
		4	531	2,0	+0,3				4	189	3,4	+1,8	
		śr.	2236,534			0,9		śr.	2328,207			0,8	
9	15-3	1	884,673	1,6	-3,1		21	24-5	1	2720,887	1,8	-1,3	
		2	633	1,4	+0,9				2	883	2,0	-0,9	
		3	621	2,3	+2,1				3	853	3,1	+2,1	
		śr.	884,642			1,6		śr.	2720,874			1,1	
10	13-3	1	1829,741	0,6	+0,6		22	21-5	1	1812,271	2,4	+0,8	
		2	729	1,0	-0,6				2	287	3,0	-0,8	
		śr.	1829,735			0,6		śr.	1812,279			0,8	
11	12-3	1	1964,286	2,2	-1,6		23	21-19	1	1720,650	2,6	+0,7	
		2	267	1,3	+0,3				2	639	3,4	-1,8	
		3	257	1,2	+1,3				3	683	3,1	-2,6	
		śr.	1964,270			0,8		śr.	1720,657			1,3	
12	25-3	1	2117,882	3,8	+0,7		24	19-3	1	1305,229	2,2	-1,2	
		2	881	2,2	+0,8				2	205	1,8	+1,2	
		3	905	4,6	-1,6								
		śr.	2117,889			0,8		śr.	1305,217			1,2	

rzać pomiary ze względu na zbyt duży błąd wewnętrzny zamknięcia serii. Jak się okazało było to spowodowane dużymi wibracjami powietrza, które utrudniały dokładne określenie minimum. W tabelicy 4 zestawiono wszystkie pomierzone długości, które zostały przyjęte do obliczenia średnich boków, nie umieszczono natomiast tych serii, w których błąd wewnętrzny serii otrzymano większy niż 4 cm. Tempo wykonywanych pomiarów było dość duże, bo mierzono dziennie średnio pięć boków. Po wykonaniu pomiarów liniowych i kątowych przeprowadzono analizę wstępną polegającą na zamknięciu poligonów w oparciu o dane punkty. Wyniki zamknięć poligonów przedstawiono w tabelicy 5:

TABLICA 5

Numer ciągu	Ilość boków	Długość ciągu w km	f_x m	f_y m	f_t m	Błąd względny
1	4	6,2	+0,126	+0,131	0,182	1 : 34 000
2	5	9,3	+0,046	-0,023	0,051	1 : 183 000
3	5	8,6	+0,020	+0,005	0,021	1 : 410 000
4	6	9,5	+0,310	+0,010	0,310	1 : 31 000
5	5	7,8	-0,170	-0,070	0,180	1 : 43 000

Obliczone błędy względne pozwalają twierdzić, że założone dokładności zostały zachowane.

Jako dalsze badanie tej sieci przewiduje się ściśle wyrównanie metodą spostrzeżeń pośrednich, w efekcie którego otrzymamy błędy położenia wszystkich punktów poligonowych. Szczegółowa analiza będzie mogła być przedstawiona w późniejszym opracowaniu.

Jednak już teraz można twierdzić, że zastosowanie dalmierza świetlnego do pomiaru osnów miejskich jest celowe zarówno ze względu na efekt techniczny, jak i ekonomiczny.

W szczególności wydaje się, iż dzięki metodzie poligonizacji można będzie w przyszłości zbliżyć zakładane sieci do wymogów przyszłego użytkownika. Obecnie bowiem sztywne warunki konstrukcyjne sieci triangulacyjnych powodują, iż z punktu widzenia potrzeb miasta otrzymuje się punkty rozłożone w sposób przypadkowy i nieracjonalny. Ponadto w wielu przypadkach ten sposób wyznaczenia punktów pozwoli na uniknięcie sytuowania ich na wysokich budowlach, a więc uniknięcie trudnych i kosztownych przeniesień. Ustalenie efektu ekonomicznego po wykonaniu jednego i to dość nietypowego pomiaru jest trudne.

Głównym źródłem oszczędności będą:

- 1) obniżona zabudowa,
- 2) niższe koszty obserwacji (krótszy okres obserwacji),

- 3) zmniejszenie ilości przeniesień,
- 4) możliwość bezpośredniego związania z siecią poligonową niższych rzędów.

Ten ostatni punkt jest najtrudniejszy do ocenienia. Ogólnie nasz szacunek określa oszczędności na około 30 proc. kosztów ogólnych. Wielkość ta pokrywa się z podaną w literaturze radzieckiej.

LITERATURA

- [1] CNIIGAiK: Swietłodalnomier „Kristał”, Moskwa 1967.
- [2] *Feldman G. A., Entin I. I.*: Integration of optical system in elektrooptical distancers, XIVth General Assembly of I.U.G.G., Luzern 1967.
- [3] *Kondraszko A. W.*: Elektrooptičeskie dalmiery, Gieodiezizdat, Moskwa 1959.
- [4] *Majdanowa Z., Toruński A.*: Badanie dalmierza świetlnego Kristał, sprawozdanie do CNIIGAiK, 1968.

*Recenzował: mgr inż. Wojciech Krzemiński
Samodzielny pracownik naukowo-bad.*

Rękopis złożono w Redakcji w czerwcu 1968 r.

ЗОФИЯ МАИДАНОВА
АНДЖЕЙ ТОРУНЬСКИ

СВЕТОДАЛЬНОМЕР „КРИСТАЛ” И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ
В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

Резюме

Светодалномер „Кристал”, построен Центральным Научно-исследовательским Институтом Геодезии, Аэросъёмки и Картографии в Москве, был исследован в Институте Геодезии и Картографии в Варшаве.

Этот инструмент отличается соосной оптической системой передатчика и приемника.

„Кристал” принадлежит до класса инструментов малых, назначенных для городских измерений, полигонометрии итд.

Полученные результаты, избранные в таблицах 1÷5 показывают, что инструмент в полнии обезпечает ожидаемую точность.

ZOFIA MAJDANOWA
ANDRZEJ TORUŃSKI

THE ELECTRO-OPTICAL DISTANCE MEASURING INSTRUMENT
„KRISTAL” AND THE POSSIBILITIES OF ITS APPLICATION TO
GEODETICAL SURVEY

OOM instrument Kristal, constructed and build at the Central Research Institute of Geodesy, Photogrametry and Cartography in Moscow, have been tested by the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw.

This new instrument distinguish the integrated optical system for transmitter and receiver. The Kristal is the instrument of the small-class designated for town-surveying, poligonometry, etc.

The results of the test measurements, enclosed in the tables 1—5, points that the accuracy of the instrument is equal or better to awaited one.

SPIS TREŚCI

TADEUSZ WYRZYKOWSKI

Poprawka niwelacyjna ze względu na dobowe zmiany kierunku linii pionu spowodowane przez Księżyc i Słońce 3

JERZY GAŹDZICKI

ALEKSANDER SKÓRCZYŃSKI

Błędy średnie funkcji obserwacji wyrównanych 43

MARIA KRYSZYNA SZACHERSKA

Analiza rozkładu błędów zamknięć trójkątów sieci wypełniającej . . . 59

TADEUSZ STENCKI

Badania laboratoryjne dalmierzy elektromagnetycznych 73

ZOFIA MAJDANOWA

ANDRZEJ TORUŃSKI

geodezyjnych 99

Dalmierz świetlny „Kristal” i możliwości jego zastosowania w pracach

СОДЕРЖАНИЕ

ТАДЭУШ ВЫЖИКОВСКИ

Нивелировочная поправка за суточные измерения направления отвесной линий вызванные воздействием Луны и Солнца 3

ЕЖИ ГАЗДЗИЦКИ

АЛЕКСАНДЕР СКУРЧИНСКИ

Средние квадратические ошибки функций уравненных наблюдений 43

МАРИЯ КРИСТИНА ШАХЕРСКА

Анализ распределения ошибок невязок треугольников выполняющей сети 59

ТАДЭУШ СТЕНЦКИ

Лабораторные исследования электромагнитных дальномеров 73

ЗОФИЯ МАЙДАНОВА

АНДЖЕЙ ТОРУНЬСКИ

Светодалномер „Кристал” и возможность его применения в геодезических работах 99

CONTENTS

TADEUSZ WYRZYKOWSKI

- Levelling Correction due to Diurnal Changes in Plumb Line Direction
caused by the Moon and the Sun 3

JERZY GAŹDZICKI

ALEKSANDER SKÓRCZYŃSKI

- Mean square errors of function of adjusted observations 43

MARIA KRYSZYNA SZACHERSKA

- Analysis of the distribution of triangle-closure errors in the filling
network 59

TADEUSZ STENCKI

- Laboratory tests of electromagnetic distance meters 73

ZOFIA MAJDANOWA

ANDRZEJ TORUŃSKI

- The Electro-Optical Distance Measuring Instrument „Kristal” and the
possibilities of its application to geodetical survey 99