ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: GÓRNICTWO z. 37 Nr kol. 246

TADEUSZ DZIURA, ANTONI KOT

# NOWY SPOSÓB CENTROWANIA TEODOLITU W WARUNKACH DUŻEJ PRĘDKOŚCI POWIETRZA W WYROBISKACH GÓRNICZYCH

Streszczenie. W artykule podano opis i analizę dokładności pomiaru kopalnianych ciągów poligonowych z zastosowaniem przyrządu zwanego pionownikiem centrycznym. Sposób pomiaru jest modyfikacją automatycznego centrowania teodolitu przystosowany do specyficznych warunków w wyrobiskach górniczych. Wskazano celowość szerokiego zastosowania tego sposobu pomiaru z uwagi na znaczne podniesienie dokładności wyników, potwierdzonych szeregiem przykładów z praktyki geodezyjnej.

## 1. Wstęp

Praca [1] wykazała, że działanie prądu powietrza, o odpowiednio dużej prędkości, na pion mechaniczny sznurowy, jest stosunkowo duże. Wielkości błędu centrowania, powstałego pod wpływem działania prądu powietrza, przekraczają znacznie wartości dopuszczalne, podane w normach technicznych. Błąd centrowania w sposób zasadniczy wpływa na błąd pomiaru kąta, a co za tym idzie, na dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów poligonowych. Błąd pomiaru długości spowodowany działaniem prądu powietrza, na skutek specyficznego charakteru kopalnianych ciągów poligonowych (przewaga kątów o wartości około $180^{o}$), jest nieduży. Występuje on w zasadzie przy zmianie kierunku wyrobisk.

Z uwagi na powyższe, w wyrobiskach górniczych, w których prędkość powietrza jest stosunkowo duża (powyżej 1,5 m/sek.), należałoby przejść na pomiar kopalnianych ciągów poligonowych przy użyciu kilku statywów, z centrowaniem ich za pomocą pionu optycznego. Metody tej nie można jednak stosować bez zastrzeżeń w warunkach dołowych, gdyż punkty poligonowe pierwsze-

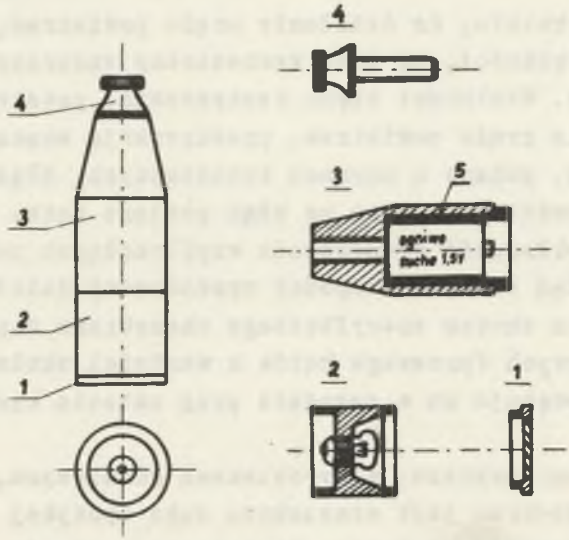
go i drugiego rzędu stabilizuje się w stropie wyrobisk górniczych (bardzo rzadko w spągu), niejednokrotnie w sposób uniemożliwiający bezpośrednie celowanie na punkt poligonowy lunetką pionu optycznego.

Te trudności doprowadziły do powstania nowej metody pomiaru kopalnianych ciągów poligonowych, pośredniej pomiędzy metodą z automatycznym centrowaniem przy pomocy pionu optycznego, a metodą z automatycznym centrowaniem przy pomocy pionu mechanicznego.

Nowy sposób pomiaru ciągów poligonowych w kopalni, a w szczególności centrowanie spodarek teodolitu i sygnałów, wymaga użycia przyrządu nazwanego pionownikiem centrycznym pomysłu mgr inż. Tadeusza DZIURY.

## 2. Pionownik centryczny

Pionownik centryczny jest przyrządem służącym do sygnalizowania osi pionowej przechodzącej przez punkt poligonowy.



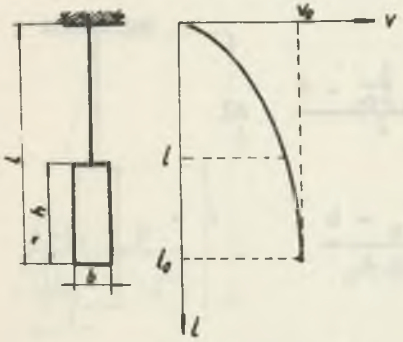

Rys. 1. Pionownik centryczny. Skala 1:2

Składa się z następujących części (zob. rys. 1):
- pierścienia ze szkłem matowym, na którym zaznaczone są czarnym kolorem współśrodkowe koła (1),
- tulejki z uchwytem na żarówkę 1,5 V (2),
- tulejki dla umieszczenia ogniwa suchego o napięciu 1,5V (3),
- śruby do zamocowania sznurka i włączenia oświetlenia matówki (4),
- wykładziny izolującej (5).

Pionownik centryczny zawieszany jest na punktach poligonowych stabilizowanych w dowolny sposób w stropie wyrobisk górniczych. Odległość pionownika od punktu poligonowego (długość sznurka) może być regulowana zależnie od wysokości wyrobiska i prędkości powietrza. Dobre oświetlenie matówki - sygnału światłem wewnętrznym pionownika pozwala na centrowanie spodarki pionem optycznym, bez konieczności użycia dodatkowego źródła światła.

## 3. Wpływ prądu powietrza na wychylenie pionownika centrycznego

Pionownik centryczny zawiesza się tuż przy stropie wyrobiska na bardzo krótkim sznurku. To powoduje, że nie możemy skorzystać ze znanych dotychczas wzorów dla obliczenia wychylenia, powstałego na skutek działania prądu powietrza. Jednakże i w tym przypadku musimy uciec się do przeciętnych warunków i założeń upraszczających. Zakładamy rozkład prędkości wzdłuż pionownika jak na rys. 2.



Rys. 2. Wykres prędkości powietrza wzdłuż pionownika centrycznego

Przy takim rozkładzie prędkość powietrza przy punkcie poligonowym jest równa zeru, zaś przy matówce pionownika osiąga wartość maksymalną, jednak co najmniej 2-krotnie mniejszą od prędkości powietrza w środku przekroju wyrobiska.

Krzywą prędkości możemy określić wzorem:

$$v = v_o\sqrt{\frac{l}{l_o}} \tag{1}$$

gdzie:

$v$ – prędkość powietrza w dowolnym punkcie pionownika,

$v_o$ – prędkość powietrza przy matówce,

$l$ – odległość od punktu poligonowego do dowolnego punktu,

$l_o$ – odległość od punktu poligonowego do matówki pionownika.

Elementarną wartość oporu aerodynamicznego dP, przypadającą na elementarną powierzchnię przekroju pionowego dS, można przedstawić wzorem:

$$dP = C\frac{\mu v^2}{2}\,dS \tag{2}$$

gdzie:

$\mu$ – gęstość powietrza,

$v$ – prędkość powietrza działającego na powierzchnię d S,

C – współczynnik aerodynamiczny

Stąd wartość oporu aerodynamicznego stawianego przez sznurek:

$$P_S = \int_0^{l_o-h} C_S\frac{\mu v_o^2 \cdot \frac{l}{l_o} \cdot d}{2} \cdot dl$$

$$P_S = C_S\mu v_o^2\, d \cdot \frac{l_o - h}{4\, l_o} \tag{3}$$

gdzie:

$C_S$ – współczynnik aerodynamiczny sznurka,

d – średnica sznurka

Ponieważ wartość $P_S$ w stosunku do innych sił oporu aerodynamicznego jest kilkadziesiąt razy mniejsza, jej działanie w dalszych obliczeniach pomijamy.

Wartość oporu aerodynamicznego dla pionownika przy założeniu stałej jego średnicy b:

$$P = \int_{l_o - h}^{l_o} C \frac{\mu v_o^2 \frac{l}{l_o}}{2} \cdot b \cdot dl$$

Po scałkowaniu:

$$P = C \mu v_o^2 \cdot S \cdot \frac{2 l_o - h}{4 l_o} \qquad (4)$$

Jest to wartość wypadkowa wszystkich elementarnych składowych sił naporu powietrza. Punkt przyłożenia wypadkowej tych sił zależny od wielkości $l_o$ i h przemieszczać się będzie w granicach wartości $\frac{1}{3} h \div \frac{1}{2} h$ od matówki pionownika. Dla dalszych obliczeń zakładamy, że punkt zaczepienia siły P leży w odległości $\frac{5}{12} h$ od matówki pionownika oraz, że środek masy pionownika leży w tym samym punkcie.

Schemat sił działających na pionownik przedstawia rys. 3.

Z warunku momentów:

$$f' \cdot mg = P \left(l_o - \frac{5}{12} h\right)$$

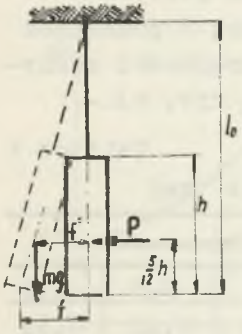
ale:

$$f = \frac{l_o}{l_o - \frac{5}{12} h} \cdot f'$$

stąd:

$$f = P \cdot \frac{l_o}{mg}$$

$$f = C \frac{\mu v_o^2 \cdot S (2 l_o - h)}{4 mg} \qquad (5)$$




Rys. 3. Siły działające na pionownik centryczny

Przyjmując jednostki jak niżej, aby otrzymać wychylenie w mm wzór (5) będzie miał postać:

$$f = C \frac{v_0 \cdot S\,(2\,l_0 - h)}{40\,mg}\ \text{mm} \qquad (6)$$

gdzie:

- $f$ – wartość odchylenia pionownika centrycznego od osi pionowej, mm,
- $C$ – współczynnik aerodynamiczny = 0,7,
- $v_0$ – prędkość powietrza, m/s,
- $l_0$ – odległość od znaku poligonowego do matówki pionownika, m,
- $h$ – wysokość pionownika, m,
- $S$ – powierzchnia przekroju pionownika, $cm^2$,
- $m$ – masa pionownika, kg,
- $g$ – przyspieszenie ziemskie, $m/s^2$.

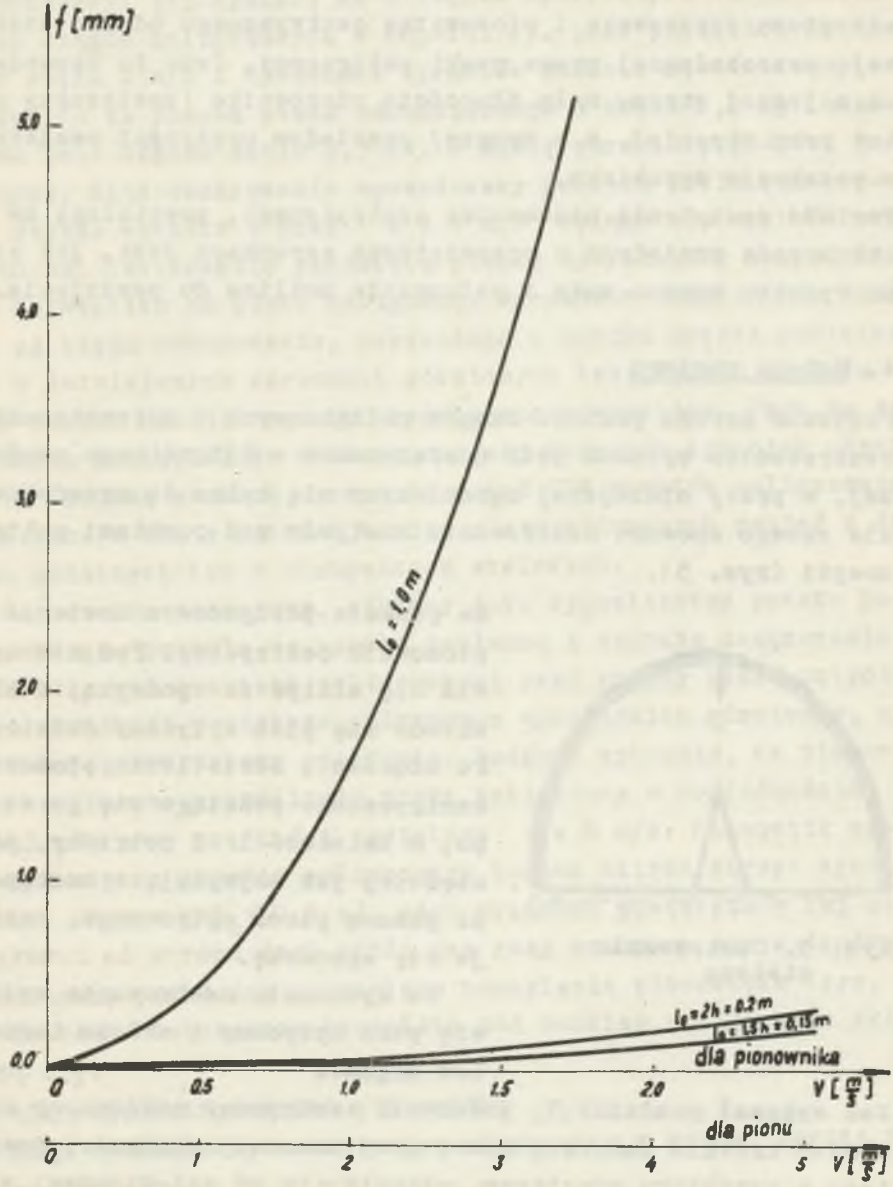
Dla określenia wielkości wychyleń pionownika centrycznego przyjęto: $m = 0{,}3$ kg, $S = 24\ cm^2$, $\mu = 1{,}2\ kg/m^3$, $C = 0{,}7$, $h = 0{,}1$ m $l_0 = 1{,}5\ h$, $l_0 = 2{,}0\ h$.
Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.

Dla zobrazowania rzędu wielkości tych wychyleń porównano wielkości wychyleń pionownika z wychyleniami pionu o podobnych parametrach, przy jego długości równej 1,0 m i prędkości maksymalnej powietrza dwukrotnie większej (tablica 1, rys. 4).

Tablica 1

Wielkości wychyleń pionownika centrycznego [mm]

| | v – prędkość powietrza [m/s] | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| $l_0$ = 1,5 H | 0,03 | 0,08 | 0,14 | 0,21 | 0,31 | 0,42 | 0,55 |
| $l_0$ = 2,0 h | 0,05 | 0,11 | 0,20 | 0,32 | 0,46 | 0,63 | 0,82 |

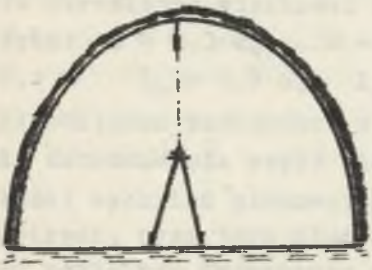



Rys. 4. Wielkości wychylenia pionu i pionownika centrycznego

Z rys. 4 wynika, jak duża jest różnica w wartościach wychylenia pionu sznurowego i pionownika centrycznego od osi pionowej, przechodzącej przez punkt poligonowy. Jest to spowodowane z jednej strony małą długością pionownika (zawieszamy go tuż przy stropie), a z drugiej rozkładem prędkości powietrza w przekroju wyrobiska.
Wartość wychylenia pionownika centrycznego, powstałego na skutek parcia powietrza w przeciętnych warunkach jest, jak widać na rysunku bardzo mała i całkowicie możliwa do pominięcia.

## 4. Metoda pomiaru

Ponieważ metoda pomiaru ciągów poligonowych z automatycznym centrowaniem opisana jest dostatecznie w literaturze geodezyjnej, w pracy niniejszej ograniczymy się tylko do przedstawienia samego sposobu centrowania statywów pod punktami poligonowymi (rys. 5).



Rys. 5. Centrowanie statywu

Na punkcie poligonowym zawiesza się pionownik centryczny. Pod nim ustawia się statyw ze spodarką, w którą wkłada się pion optyczny dwustronny. Po włączeniu oświetlenia pionownika centrycznego podciąga się go do stropu, w zależności od potrzeby, najczęściej jak najwyżej, a następnie, za pomocą pionu optycznego, centruje się spodarkę.

Po wykonaniu centrowania wyjmuje się pion optyczny i wkłada teodolit lub sygnał.

Jak wykazał rozdział 3, pionownik centryczny zawieszony na bardzo krótkim sznurku, nawet przy znacznej prędkości powietrza w wyrobisku górniczym, odchyla się od osi pionowej minimalnie o wartość, która nie ma w zasadzie znaczenia praktycznego.

## 5. Analiza dokładności

Z publikacji [1] wynika, że w często spotykanych warunkach pomiaru ciągów poligonowych w kopalni tj. przy prędkości powietrza rzędu 2 m/s i wysokości wyrobisk około 3 m, centrowanie teodolitu za pomocą pionu mechanicznego o masie 0,3 kg obarczone jest błędem około 2,5 mm. W miarę wzrostu prędkości powietrza, błąd centrowania spowodowany parciem powietrza bardzo szybko wzrasta i przy $v = 4$ m/s osiąga już wartość około 10 mm. Centrowanie teodolitu pionem optycznym z bezpośrednim celowaniem na punkt poligonowy wprawdzie uwalnia mierzony kąt od błędu centrowania, powstałego w wyniku parcia powietrza, ale w dzisiejszych warunkach górniczych taki sposób pomiaru jest bardzo utrudniony albo też często niemożliwy. Jest to spowodowane zastąpieniem obudowy murowej głównych wyrobisk górniczych obudową stalową, przez co ponad 80% punktów poligonowych stabilizuje się w postaci bardzo słabo widocznych nacięć w łukach podatnych lub w stropnicach stalowych.

Pionownik centryczny, służący jako sygnalizator punktu poligonowego, pozwala na bardzo dokładne i szybkie centrowania teodolitu pod punktami poligonowymi przy pomocy pionu optycznego. Prędkość powietrza, płynącego wyrobiskiem górniczym, nie ma tutaj praktycznego znaczenia. Badania wykazały, że pionownik centryczny sygnalizuje punkt poligonowy z dokładnością $\pm$ 0,2 mm, przy prędkości powietrza $v = 0$ m/s. Pionownik zawiesza się na punkcie poligonowym bardzo blisko stropu wyrobiska ($0{,}1\ \mathrm{m} < l_0 < 0{,}2\ \mathrm{m}$), gdyż prędkość powietrza w tej odległości od stropu jest około dwa razy mniejsza niż w środku wyrobiska, powodując niewielkie odchylenie pionownika (rys. 4).

Na błąd centrowania teodolitu pod punktem poligonowym składają się:

a) błąd ekscentryczności pionownika $m_c$,

b) błąd spowodowany odchyleniem pionownika w wyniku parcia powietrza $m_f = f$,

c) błąd pionu optycznego $m_p$,

Wykonane w Katedrze Miernictwa Górniczego Politechniki Śląskiej pionowniki centryczne (rys. 1), wykazują maksymalny błąd eks-

centryczności $m_c = \pm 0,2$ mm. Badania pionów optycznych PZO i Zeiss, wykazały, że ich błąd wyznaczenia kierunku pionowego, powstały wskutek niedokładności libeli i różnicy średnic głowicy pionu optycznego oraz spodarki teodolitu, wynosi w odległości 1,5 m około 0,3 mm. Błąd centrowania powstały w wyniku parcia powietrza na pionownik zależy od prędkości powietrza w wyrobisku i wielkości $l_o$. W bardzo niekorzystnych warunkach pomiaru, tj. przy prędkości powietrza w środku wyrobiska wynoszącej 6 m/s i $l_o = 2$ h = 0,2 m, $m_f = \pm 0,5$ mm.

Biorąc pod uwagę powyższe wartości liczbowe błędów elementarnych, całkowity błąd centrowania:

$$m_o = \pm\sqrt{m_c^2 + m_f^2 + m_p^2} = \pm\sqrt{(0,2)^2 + (0,5)^2 + (0,3)^2}$$

$$m_c = \pm 0,6 \text{ mm}$$

Należy podkreślić, że już przy prędkości powietrza v = 3 m/s i długości pionu mechanicznego $l_o = 1,5$ m i masie 0,3 kg, błąd centrowania teodolitu spowodowany parciem powietrza wynosi około 6,0 mm. Z powyższych rozważań wynika, że zastosowanie pionownika centrycznego, szczególnie w wyrobiskach, gdzie prędkość powietrza jest większa od 1 m/s, pozwala na duże zwiększenie dokładności pomiaru kątów wierzchołkowych ciągów poligonowych.

Katedra Miernictwa Górniczego przekazała Przedsiębiorstwu Miernictwa Górniczego w Bytomiu pionownik centryczny, celem przeprowadzenia doświadczeń w rzeczywistych warunkach górniczych. W kopalni "Gliwice" pomierzono szereg ciągów poligonowych założonych w wyrobiskach o dużych prędkościach przepływu powietrza. Kąty wierzchołkowe w ciągach obustronnie dowiązanych pomierzono metodą repetycyjną z jednym powtórzeniem teodolitem o dokładności odczytu t = 30", a długości boków taśmą stalową, wykonując odczyty z dokładnością ± 1 mm. Charakterystykę pomierzonych ciągów poligonowych wraz z otrzymanymi odchyłkami kątowymi i liniowymi przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

| Nr ciągu polig. | Długość ciągu km | Ilość pkt. | Odchyłka kątowa | | Odchyłka liniowa | | $\frac{f_{\beta max}}{f_\beta}$ | $\frac{fL_{max}}{fL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $f_\beta$ | $f_{\beta max}$ | $fL$ m | $fL_{max}$ m | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 4,1 | 88 | 52 | 281 | 0,312 | 1,025 | 5,4 | 3,3 |
| 2 | 0,6 | 13 | 3 | 108 | 0,054 | 0,134 | 25,0 | 2,5 |
| 3 | 4,3 | 84 | 33 | 275 | 0,275 | 1,062 | 8,7 | 3,9 |
| 4 | 6,4 | 137 | 48 | 351 | 0,406 | 1,587 | 7,3 | 3,9 |
| 5 | 2,2 | 54 | 15 | 320 | 0,204 | 0,550 | 15,2 | 2,7 |
| 6 | 4,9 | 118 | 18 | 326 | 0,358 | 1,226 | 18,3 | 3,4 |
| 7 | 1,3 | 29 | 14 | 161 | 0,077 | 0,325 | 11,5 | 4,2 |
| 8 | 0,7 | 19 | 38 | 130 | 0,016 | 0,181 | 3,8 | 11,3 |
| 9 | 4,8 | 102 | 78 | 303 | 0,323 | 1,200 | 3,9 | 3,7 |

Z tablicy 2 wynika, że otrzymane z pomiarów odchyłki kątowe $f_\beta$ są wielokrotnie mniejsze od dozwolonych normami technicznymi, a błędy względne liniowe są kilka razy mniejsze od dopuszczalnych, które dla ciągów poligonowych kopalnianych pierwszego rzędu obliczono wzorem:

$$f_{Lmax} = \frac{L}{4000}$$

L - suma długości boków ciągu poligonowego.

Przy zastosowaniu pionownika centrycznego pomierzono metodą repetycyjną dwukrotnie z powtórnym centrowaniem kąty wierzchołkowe na 315 punktach poligonowych. Błąd średni mierzonego kąta, wyliczony z par spostrzeżeń, wynosi $\pm$ 6", co w trudnych warunkach pomiaru teodolitem o dokładności odczytu 30", uważać należy za dużą dokładność. Powyższe przykłady świadczą dobitnie o dużych korzyściach płynących z zastosowania pionownika centrycznego w pomiarach ciągów poligonowych dla zwiększenia dokładności pomiarów zarówno kątowych jak i długościowych. Praktyczne zastosowanie pionownika centrycznego i otrzymane wyniki potwierdzają teoretycznie obliczony wpływ prędkości powietrza (Praca 1) na wielkość odchylenia pionu.

LITERATURA

[1] Budryk W. - Wentylacja kopalń część I - Katowice 1951.

[2] Dziura T., Kot A. - Zagadnienie wpływu prądu powietrza na dokładność pomiarów kopalnianych ciągów poligonowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl.

[3] Kowalczyk Z. - Mierniotwo górnicze cz. I - Katowice 1952.

[4] Szymoński J. - Instrumentoznawstwo geodezyjne - Warszawa 1954.

НОВЫЙ СПОСОБ ЦЕНТРИРОВКИ ТЕОДОЛИТА В УСЛОВИЯХ БОЛЬШОЙ СКОРОСТИ ВОЗДУХА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Р е з ю м е

В работе даны описание и анализ точности измерения угольных полигонных ходов с применением прибора, называемого центрическим проектиром направления.

Способ измерения является модификацией автоматического центрирования теодолита, приспособленный к специфическим условиям горных выработок. Указана целесообразность широкого применения этого способа измерения в виду значительного повышения точности результатов, подтверждённых рядом примеров из геодезической практики.

A NEW WAY OF THEODOLITE CEUTRING UNDER THE GREAT AIR - SPEED IN THE MINING EXPLOITED ARCAS

S u m m a r y

In the paper the description and analysis of the mining poligon sequences accuracy medsurement by means of an instrument called centrical - plummet - have been given.
The way of measurement is a modification of an automatic theodolite centring, adapted to the special conditions in the mining exploited areas. Suitobleness of wide use of this method on account of much greater accuracy confirmed by a series of examples taken from the geodesy practice - has been pointed out in this article.