

BLĄD PARALAKSY WSKAŹNIKÓW ODCZYTOWYCH I NASTAWCZYCH

KD:681.2.088 - Błędy.Korygowanie
IF.: 4.2.3.1 - Elementy pomiarowe

W artykule oceniono i przeliczono błąd paralaksy występujący przy odczycie wskazywanym przyrządem wychyłowym. Rozpatrzono wpływ konstrukcji wskaźnika /"kołowy", lub płaski/ na błąd paralaksy.

W s t ę p

Przy dokonywaniu odczytu lub nastawianiu wartości określonej wielkości na skali analogowego przyrządu pomiarowego popełniany jest zawsze błąd. Wartość tego błędu zależy od stopnia przystosowania urządzenia odczytowego lub nastawczego do określonych cech psychicznych i fizycznych człowieka.

Ponieważ w przypadku przyrządów o wyższej dokładności wartość błędów odczytu może stanowić podstawową przyczynę ograniczenia dokładności przyrządu, zagadnienie prawidłowego zaprojektowania urządzenia odczytowego lub nastawczego staje się ważnym czynnikiem współdecydującym o własnościach metrologicznych przyrządu. W Oddziale Wrocławskim Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów przy współpracy z Katedrą Antropologii Uniwersytetu Wrocławskiego prowadzone są prace nad badaniem własności analogowych oraz cyfrowych urządzeń odczytowych [1., 2]. Celem tych prac jest zbadanie jakości aktualnie stosowanych urządzeń odczytowych oraz określenie zaleceń konstrukcyjnych. W artykule przedstawiono metodykę oraz wyniki wstępnych badań nad ustaleniem wartości błędu paralaksy analogowych urządzeń odczytowych przy założeniu, że czas odczytu jest dowolnie długi, co odpowiada laboratoryjnym warunkom pomiaru.

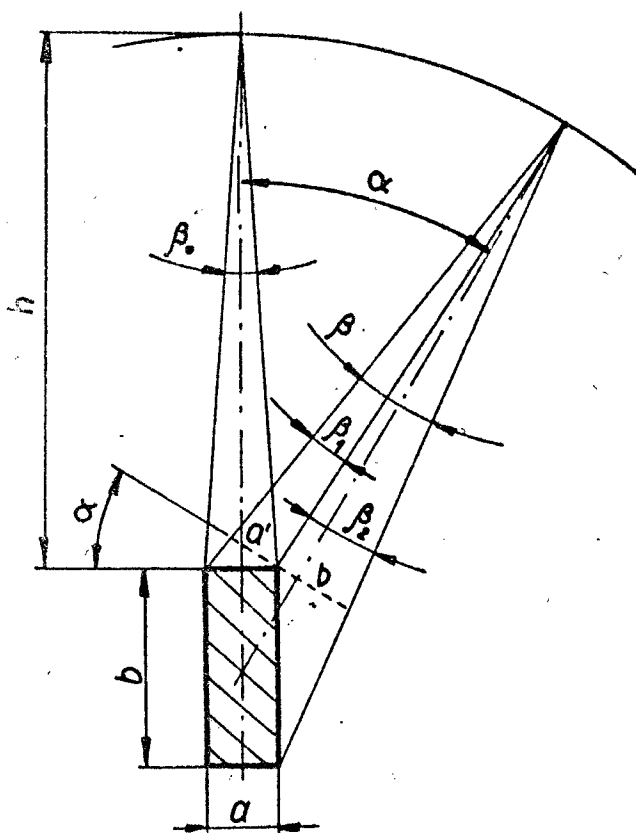
Błąd paralaksy

Błąd paralaksy powoduje niejednoznaczność przyporządkowania punktu na skali /podzielnik/ przyrządu określonego położeniu wskaź-

nika. Przyczyną wystąpienia błędu paralaksy jest nieprostokątne położenie osi optycznej oka odczytującego w stosunku do płaszczyzny skali odczytowej nad miejscem odczytu. Wartość kąta odchylenia od prostopadłej do skali może być miarą jakości różnych znanych rodzajów wskaźników, zwykle wykonywanych w sposób mający prowadzić do zmniejszenia błędu paralaksy.

Drogą badań doświadczalnych można dokonać oceny granicznej wartości α_g tego kąta dla różnych typów i rozmiarów wskaźników. Na podstawie znajomości wartości α_g dla określonego rodzaju wskaźnika oraz odległości wskaźnika od powierzchni skali można w każdym konkretnym przypadku ustalić wartość błędu odczytu spowodowanego paralaksą i wyrazić ją w jednostkach mierzonej wielkości. Wydaje się celowe określić na wstępie czynniki, od których będzie zależać wartość błędu paralaksy, a pośrednio graniczna wartość kąta odczytu α_g .

Najczęściej stosowane są wskaźniki typu "nożowego" odznaczające się stosunkowo dużą wysokością "b" w porównaniu z szerokością "a" /rys. 1/. Jeżeli odczyt jest dokonywany z odległości h, wtedy po



Rys. 1. Zmiana kąta widzenia wskaźnika nożowego α - kąt nieprostokątności odczytu, β - kąt widzenia wskaźnika, a - szerokość wskaźnika, b - wysokość wskaźnika, h - odległość od odczytu

odchyleniu oka obserwatora od płaszczyzny symetrii wskaźnika o kąt α kąt widzenia wskaźnika zwiększy się od wartości początkowej β_0 do wartości β . Dla bardzo małych wartości $\beta < 20$ mrad/, można napisać:

$$a' = a \cos \alpha$$

$$b' = b \sin \alpha$$

i dalej

$$\operatorname{tg} \beta \approx \beta \approx \frac{a \cos \alpha + b \sin \alpha}{h} \quad /1/$$

gdzie β - kąt widzenia wskaźnika po odchyleniu oka obserwatora o kąt α w radianach,

a - szerokość wskaźnika,

b - wysokość wskaźnika,

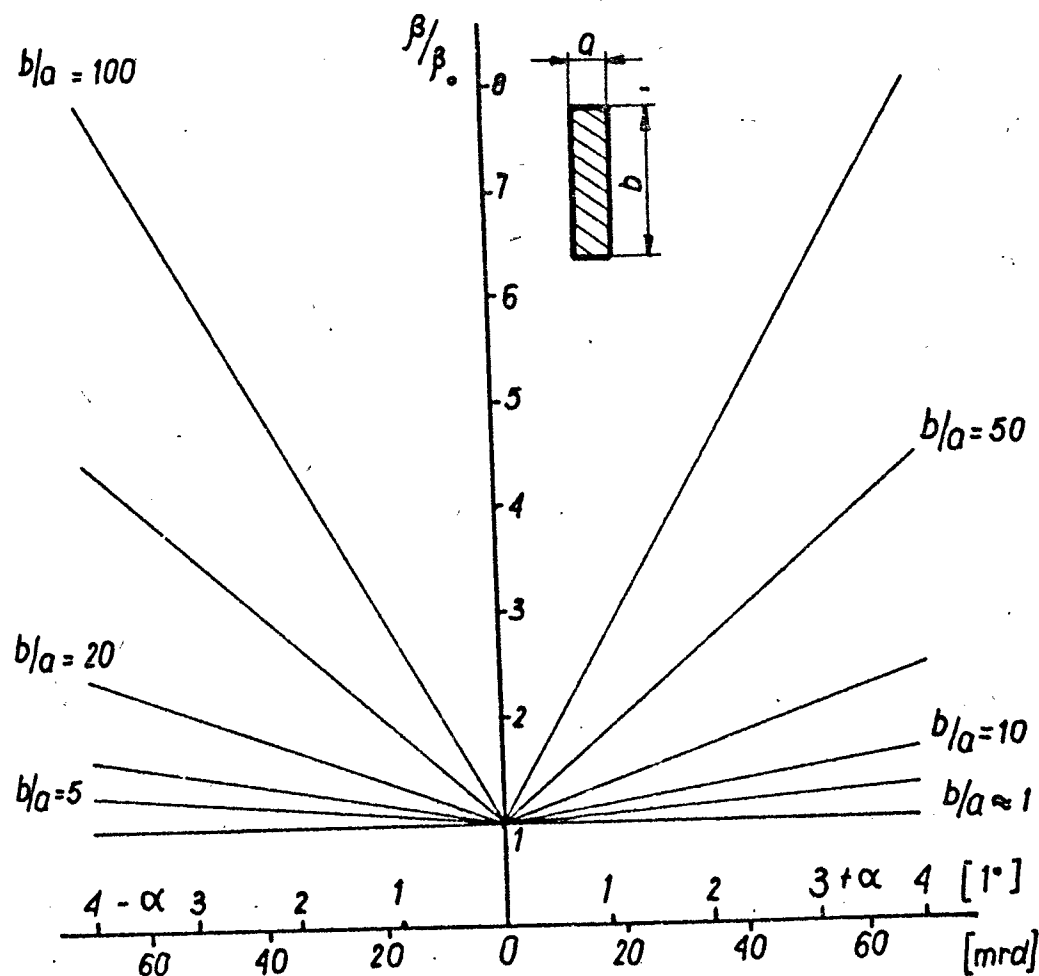
h - odległość odczytu.

Miarą dokładności prostopadłości ustawienia osi oka przy odczycie jest wartość względnego przyrostu kąta widzenia wskaźnika β/β_0 . Ponieważ dla małych wartości kąta widzenia $\beta/\beta_0 \approx a/h$, można napisać:

$$\beta/\beta_0 \approx \cos \alpha + b/a \sin \alpha \quad /2/$$

Równanie /2/ dla małych wartości kąta α /rzędu dziesiątków miliradianów/ może być punktowane jako równanie linii prostej ze współczynnikiem nachylenia b/a . A więc przy określonej wartości kąta odchylenia osi oka obserwatora od płaszczyzny symetrii wskaźnika względna wartość przyrostu kąta widzenia wskaźnika (β/β_0) jest tym większa, im większy jest stosunek wysokości wskaźnika b do jego szerokości a . Na rys. 2 przedstawiono zależność $\beta/\beta_0 = f(\alpha)$ przy parametrze b/a . Z rysunku wynika, że jeżeli istnieje określona graniczna wartość względnego przyrostu kąta widzenia wskaźnika $(\beta/\beta_0)_g$, którą jest już w stanie zauważyć "statystyczny" obserwator, wtedy wartość graniczna kąta odchylenia oka obserwatora α_g od płaszczyzny symetrii wskaźnika będzie tym mniejsza, im większa będzie wartość b/a . Wartość $(\beta/\beta_0)_g$ może być ustalona w sposób doświadczalny na drodze badań antropotechnicznych.

Natomiast zwiększenie wartości b/a może być uzyskane albo poprzez zmniejszenia grubości wskaźnika " a " albo na drodze zwiększenia jego wysokości " b ".

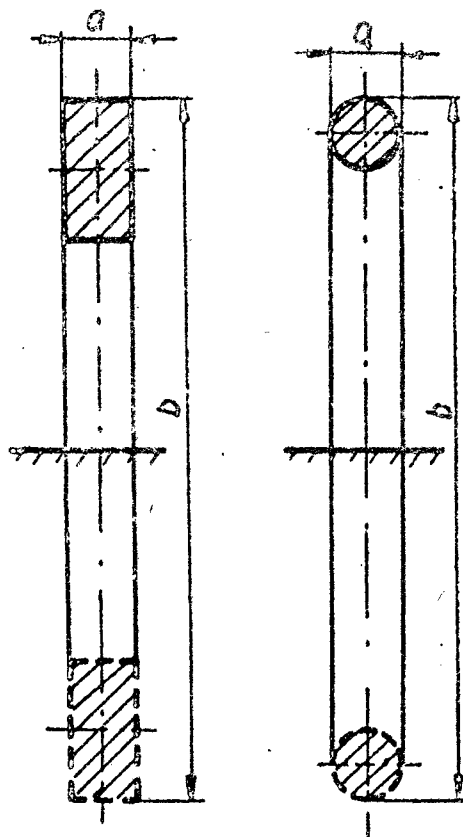


Rys. 2. Zależność względnego przyrostu kąta widzenia β/β_0 od wartości kąta nieprostokątności odczytu α , przy parametrze b/a

Zbyt daleko posunięte zmniejszenie grubości wskaźnika napotyka na ograniczenia. Według [3] rozdzielczość widzenia oka ludzkiego waha się w granicach 0,29 mrad /1 minuty kątowej/. Zatem przy odległości odczytu $h = 300$ mm minimalna szerokość "a" wskaźnika powinna być nie mniejsza niż 0,1 mm. Natomiast największa wysokość wskaźnika "b" jest ograniczona czynnikami natury technologicznej i konstrukcyjnej.

Jednym z często stosowanych sposobów zwiększania wartości "b" jest zastosowanie wskaźników z lusterkim /rys. 3/. Z punktu widzenia praktyki projektowania skal odczytowych i wskaźników przyrządów pomiarowych szczególnie istotna jest znajomość wartości granicznej kąta nieprostokątności odczytu α_g dla określonego typu wskaźnika.

Przeprowadzono w tym zakresie wstępne badania statystyczne dla trzech rodzajów wskaźników: płaskiego o płaszczyźnie równoległej do



Rys. 3. Określenie wartości a i b wskaźników z lusterkiem

powierzchni skali, wskaźnika typu "nożowego" oraz wskaźnika typu "nożowego" z lusterkiem.

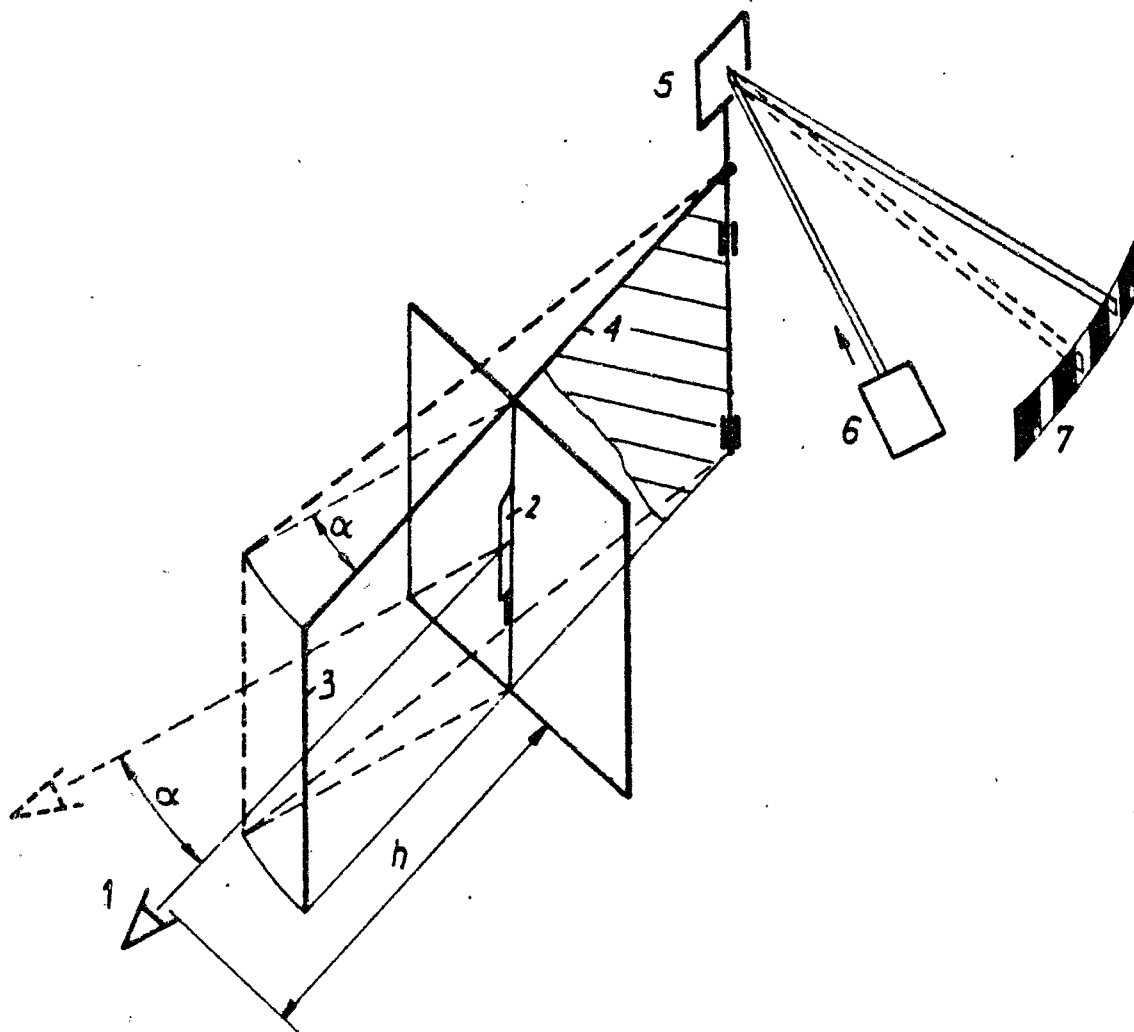
Badania dokonano na grupie 15. osób /inżynierów i techników/, posiadających wprawę w dokonywaniu odczytów ze skal przyrządów analogowych.

Każda z badanych osób dokonała 100 odczytów, co wynosi w sumie około 4500 odczytów dla wszystkich trzech wymienionych rodzajów wskaźników, przy czym badanie polegało na takim ustawieniu oka odczytującego względem wskaźnika, aby znajdowało się ono w płaszczyźnie przechodzącej przez wskaźnik i prostopadłej do powierzchni skali. Kąt rzeczywistego odchylenia oka obserwatora od tej płaszczyzny mierzono za pomocą prostego urządzenia.

Schemat urządzenia przedstawiono na rys. 4. Oko obserwatora /1/ znajduje się w odległości $h = 300$ mm od płaszczyzny odczytu, na której umieszczono badany wskaźnik /2/. Płaszczyzną wskaźnika /2/ jest prostopadła do płaszczyzny odczytu. Wskaźnik kontrolny /3/ jest umocowany na ramieniu /4/. W osi obrotu ramienia znajduje się lustro /5/. Część odczytowa urządzenia składa się z oświetlacza /6/ oraz podziałki /7/.

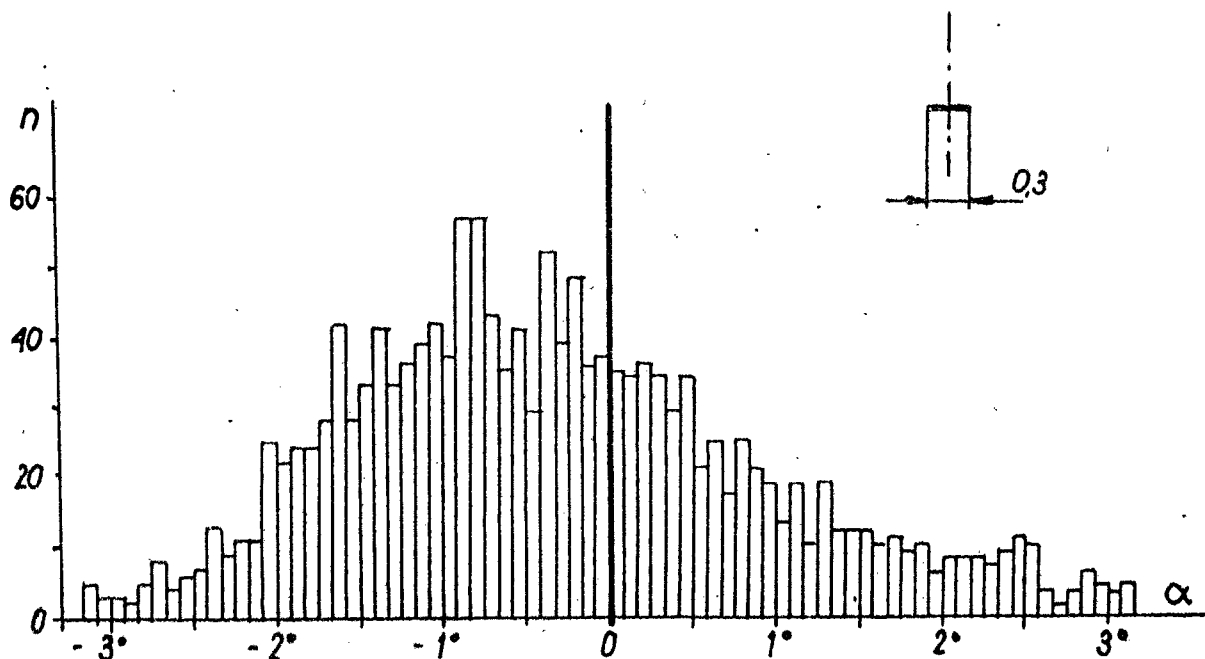
Podziałka jest zaprojektowana w ten sposób, aby przy odległości podziałki od lusterka równej 2500 mm jedna działka odpowiada 5 minutom kątowym /1,45 mrd/ kąta nieprostokątności odczytu α . Dla małych wartości kąta α podziałka /7/ ma charakter liniowy. Technika badań jest następująca: badany obserwator obserwując wskaźnik /2/ ma za zadanie ustawić oko w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny odczytu i przechodzącej przez wskaźnik /płaszczyzna zakreskowana na rys. 4/. W rzeczywistości popełnia on błąd, ustawiając oko pod kątem α w stosunku do tej płaszczyzny.

Po podjęciu decyzji odczytu obserwator ustawia wskaźnik kontrolny /3/ na linii oko /1/ - wskaźnik badany /2/. Wartość i znak błędu nieprostokątności odczytu jest odczytywana bezpośrednio z podziałki /7/.



Rys. 4. Schemat urządzenia do badania błędu nieprostokątności odczytu różnych typów wskaźników: 1 - oko obserwatora, 2 - badany wskaźnik, 3 - wskaźnik kontrolny, 4 - ramię wskaźnika, 5 - lustro, 6 - oświetlacz, 7 - podziałka odczytowa.

Stwierdzono doświadczalnie, że wartość błędu pomiaru kąta α wprowadzanego przez urządzenie była pomijalnie mała w stosunku do wartości kątów nieprostokątności odczytu, występujących w praktyce. Na rys. 5 + 7 przedstawiono w sposób graficzny wyniki badań dla różnych wskaźników: a/ wskaźnika narysowanego na skali o szerokości 0,3 mm /rys. 5/, b/ wskaźnika nożowego /a = 0,3 mm, b = 0,85 mm/ rys. 6, c/ wskaźnika nożowego jak wyżej, z lustrem umieszczonym w odległości 2,05 mm od wskaźnika /a = 0,3 mm, b = 5,8 mm/ - rys.7.

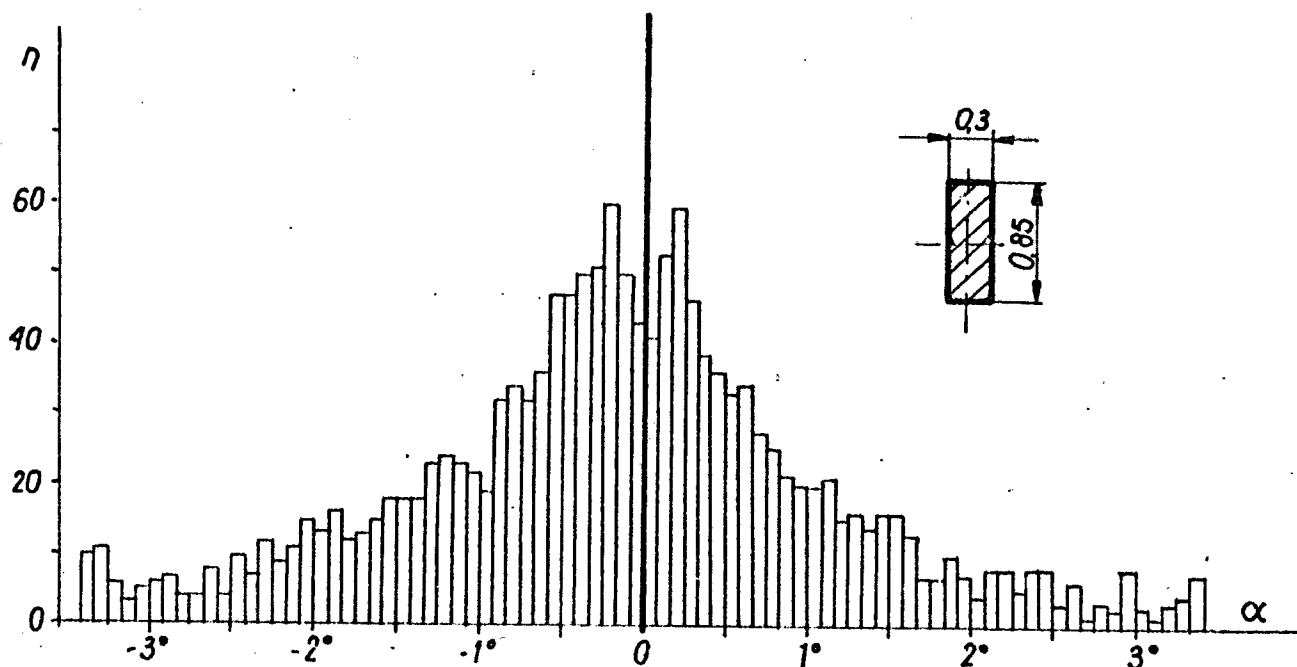


Rys. 5. Rozkład częstości występowania błędu nieprostokąt-
ności odczytu wskaźnika, $a = 0,3$ mm, $b = 0$, n - liczba odczytów

Jak wynika z przedstawionych wykresów i jak należałoby się spo-
dziewać, we wszystkich przypadkach rozkłady prawdopodobieństwa
występowania błędu nieprostokątności odczytu mają charakter zbli-
żony do normalnego ^{*/}.

Jedynie dla wskaźnika o kształcie nie ułatwiającym oceny pro-
stopadłości odczytu /rys. 4/ rozkład częstości występowania war-
tości kąta nieprostokątności odczytu ma charakter niesymetryczny.
Kierunek przesunięcia maksimum w stronę ujemnych wartości kąta α
oznacza, że przeważała tendencja przesunięcia głowy obserwatorów
zbyt daleko w prawo. Jeżeli zważyć, że odczytów dokonywano prawym
okiem, a oceny prostokątności odczytu dokonywano na podstawie pla-

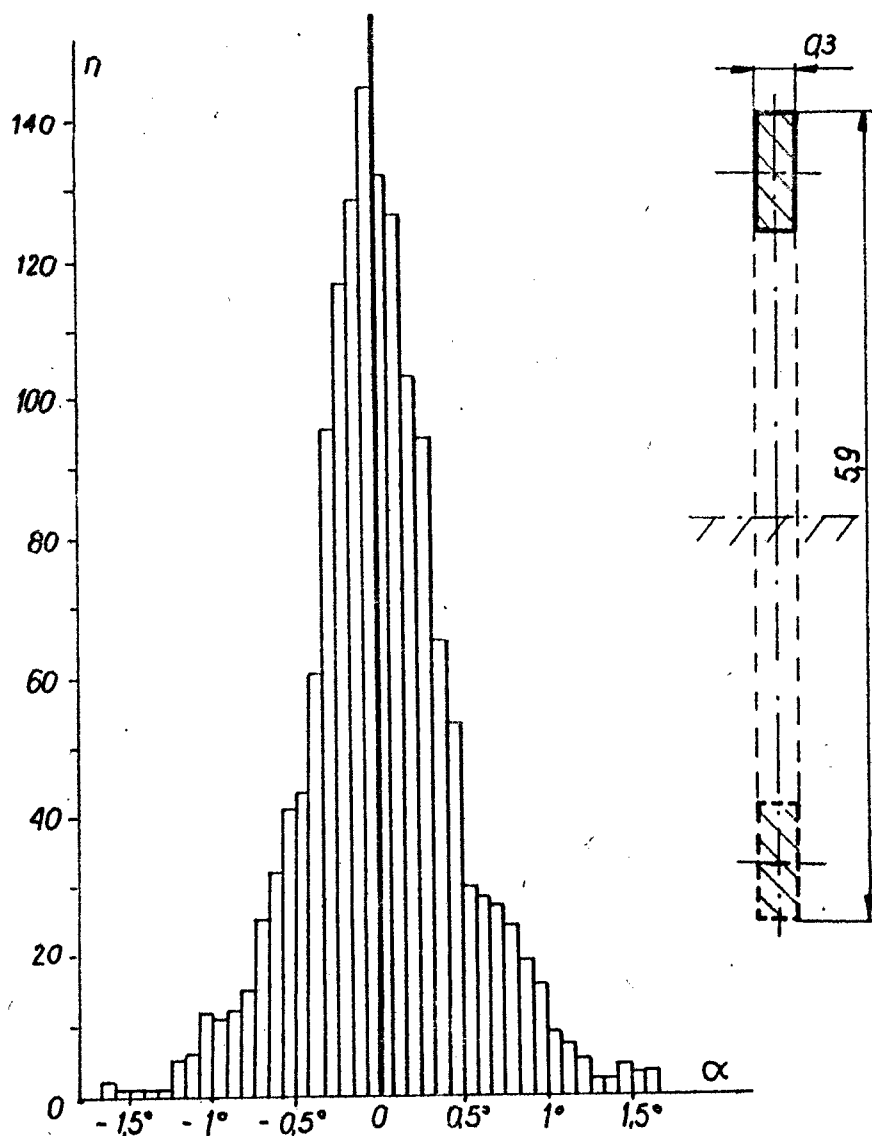
^{*/} Często podkreśla się konieczność ostrożnego stosowania modelu ma-
tematycznego jakim jest rozkład Gaussa dla przedstawienia modeli
empirycznych [4]. W omawianym przypadku ze względu na wstępny
charakter badań nie przeprowadzono testów zgodności rozkładu em-
pirycznego z teoretycznym. Zatem wartości liczbowe uzyskanych
wyników oparte na kryterium 3 σ należy traktować jako orienta-
cyjne.



Rys. 6. Rozkład częstości występowania błędu nieprostokątności odczytu wskaźnika nożowego, $a = 0,3$ mm, $b = 0,85$ mm, n - liczba odczytów

szczyzny skali za pomocą obu oczu, tendencja ta wydaje się być zrozumiała, ponieważ wynika z nieuwzględnienia poprawki przez obserwatora w postaci przesunięcia głowy w lewo przy przejściu z patrzenia za pomocą obu oczu do patrzenia za pomocą jednego oka.

Odchylenia średnie kwadratowe wartości kąta nieprawidłowości odczytu, uzyskane na drodze obliczeniowej dla poszczególnych rodzajów wskaźników wynoszą:



Rys. 7. Rozkład częstości występowania błędu nieprostokątności odczytu wskaźnika nożowego z lusterkiem, $a = 0,3$ mm, $b = 5,9$ mm, n - liczba odczytów

- a/ dla wskaźnika płaskiego $\phi = 22$ mrad $/1^{\circ} 16' /$
 b/ dla wskaźnika "nożowego" $\phi = 22,5$ mrad $/1^{\circ} 17' /$
 c/ dla wskaźnika "nożowego" z lusterkiem $\phi = 7,9$ mrad $/0^{\circ} 27' /$.

Przyjmując kryterium 3 6 można stwierdzić, że praktycznie w przypadku badanych rodzajów wskaźników należy brać pod uwagę możliwość występowania granicznych wartości kąta nieprostokątności odczytu α_g w pierwszym i drugim przypadku około ± 67 mrad / $\pm 3^\circ 50'$, czyli blisko trzy razy mniej^{*}. /rys. 5,6,7/.

Ostatni wynik nie stanowi zaskoczenia, natomiast wydaje się interesujące, że badany wskaźnik typu "nożowego" /stosowany w serijnie produkowanych przyrządach pomiarowych/ praktycznie nie wykazuje istotnego zmniejszenia błędu paralaksy w porównaniu ze wskaźnikiem nie dającym możliwości oceny prostokątności odczytu, np. wskaźnikiem okrągłym lub płaskim.

Można to wyjaśnić zupełnie odmienną techniką oceny prostokątności odczytu w przypadku obu rodzajów wskaźników. W pierwszym przypadku oceny dokonuje się wyłącznie na podstawie położenia płaszczyzny skali, w drugim wyłącznie na podstawie ustawienia oka względem płaszczyzny symetrii wskazówki.

W n i o s k i

1/ Uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, że z punktu widzenia wartości popełnianego przy odczycie błędu paralaksy wskaźnik typu "nożowego", jeżeli nie posiada odpowiednich proporcji, może nie dawać wyraźnych korzyści w stosunku do wskaźnika na przykład okrągłego lub płaskiego.

2/ Na podstawie badań antropotechnicznych wydaje się celowe określenie wartości granicznej najmniejszą zauważalną wartość/względ- nego przyrostu kąta widzenia $\beta/\beta_0/g$ oraz ustalić, czy w przedziale wymiarów wskaźników spotykanych w praktyce, wartość $\beta/\beta_0/g$, zależy od wymiarów wskaźnika.

^{*}/ Dla ścisłości w przypadku pierwszym należałoby uwzględnić przesunięcie centralnego punktu rozkładu w kierunku wartości ujemnych kąta α . Jednak ze względu na orientacyjny charakter obróbki matematycznej wyników pomiarów uwzględnienie tej poprawki nie miało by istotnego wpływu na wnioski końcowe artykułu. Dokładniejsze badania zmierzające do ilościowego określenia wartości kąta α_g , dla różnych rodzajów wskaźników są przeprowadzane osobno.

3/ Przedstawione rozważania mają charakter praktyczny. Na przykład jeżeli w elektrycznym mierniku wychyłowym wskaźnik okrągły $\phi = 0,3$ mm /lub "nożowy" $0,3 \times 0,85$ mm/ jest umieszczony w odległości 2 mm od powierzchni skali; błąd paralaksy wyniesie około $\pm 0,135$ mm /przy $\alpha_g = \pm 67$ mrad/. Łączny przedział niejednoznaczności odczytu wyniesie więc: $2 \cdot 0,135 \approx 0,3$ mm.

Przy długości skali równej na przykład 100 mm, wartość względnego błędu niejednoznaczności odczytu będzie zawierać się w granicach od 0,3% do 1%, przy założeniu, że odczytów dokonuje się przy wskaźnikach większych od $1/3$ długości skali. Zatem znajomość wartości α_g danego typu wskaźnika stanowi podstawę racjonalnego doboru wskaźnika w zależności od wartości niedokładności przyrządu pomiarowego /klasy/.

L i t e r a t u r a

- [1.] Belniak T., Krupiński T., Magnuszewicz M., Suchowiak: "Określenie czytelności podziałek i szybkości obsługi przyrządów analogowych i cyfrowych". Opracowanie Katedry Antropologii Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 1967 r.
- [2.] Orzepowski S.: "Własności metrologiczne skal przyrządów pomiarowych". Biuletyn PIAP nr 5/7/67.
- [3.] Mc Cormick E.J.: "Antropotechnika". Warszawa, WNT, 1964.
- [4.] Ney B.: "Niektóre zagadnienia związane z oceną dokładności wyników pomiarów", PAK, 1967, nr 2.