

Bogdan Kawalec

## METODY EMPIRYCZNE USTALANIA WARTOŚCI KĄTÓW TARCIA WEWNĘTRZNEGO MATERIAŁÓW GRUBOZIARNISTYCH

Streszczenie. Artykuł przedstawia stosowane metody empirycznego ustalania wartości kątów tarcia wewnętrznego gruboziarnistych gruntów naturalnych oraz zaproponowaną przez autora metodą empirycznego określania wartości kątów tarcia wewnętrznego grubo skruszonych odpadów kopalnianych. Wyniki uzyskane tą drogą zostały skonfrontowane z wynikami badań przeprowadzonych na aparaturze wielkowsymiarowej. Metoda posiada wystarczającą dla praktyki projektowej dokładność.

### 1. Wstęp

Likwidacja zwałów odpadów kopalnianych to ważny element ochrony środowiska naturalnego człowieka. Jednym z praktykowanych sposobów likwidacji zwałów jest wykorzystanie odpadów w różnego rodzaju robotach inżynierskich. Z odpadów formuje się m.in. obwałowania osadników i zbiorników przemyślowych, nasypy drogowe i kolejowe oraz korony trybun obiektów sportowych. Nasypy wykonane z odpadów spełniają również niejednokrotnie rolę podłoża budowli.

Proces projektowania wymienionych budowli ziemnych i określania nośności podłoża nasypów poprzedzać muszą badania, w wyniku których uzyskuje się potrzebne do obliczeń charakterystyki materiałowe. Są nimi: ciężar objętościowy  $\gamma$  i kąt tarcia wewnętrznego  $\Phi$ . Pierwszy z wymienionych parametrów określa się w sposób prosty znanymi szerzej metodami laboratoryjnymi i polowymi [5], [6], [8]. Wyznaczenie wartości kąta tarcia wewnętrznego dla odpadów gruboziarnistych jest natomiast znacznie trudniejsze.

Powszechny brak w laboratoriach aparatury wielkowsymiarowej służącej do badania materiałów gruboziarnistych, duży koszt takiej aparatury oraz znaczna pracochłonność badań prowadzonych na aparaturze wielkowsymiarowej, zmusza do szukania metod szacunkowego określania wartości kątów tarcia wewnętrznego. Metody te wykorzystują najczęściej zależności zachodzące między cechami fizycznymi i mechanicznymi.

Kąty tarcia wewnętrznego, ustalone tą drogą, mogą być wykorzystywane zarówno we wstępnej fazie projektowania poważniejszych obiektów, jak i w projektach technicznych drugorzędnych budowli ziemnych. Możliwe staje się dzięki temu znacznie wcześniejsze rozpoczęcie realizacji obiektów, a co za tym idzie i wcześniejsze oddawanie ich do eksploatacji.

## 2. Przegląd stosowanych metod

Do szacunkowego ustalania wielkości kątów tarcia wewnętrznego materiałów sypkich używa się wzorów różnej postaci. Do znanych należą między innymi wzory przytoczone w pracach: B. Hansena [4], A. Caquot i J. Kerisela [1], Z. Gergowicza [3] i S. Pisarczyka [9]. Wzór przytoczony przez B. Hansena ma postać

$$\Phi = \Phi_{sr} + \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 \quad (1)$$

gdzie:

- $\Phi_{sr} = 36^\circ$  - kąt tarcia wewnętrznego odpowiadający piaskom średnim,  
 $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$  - poprawki uwzględniające odchylenia od piasku średniego.

B. Hansen zaleca stosowanie następujących poprawek korygujących:

- poprawki uwzględniające kształt ziaren:

- $\Phi_1 = + 1^\circ$  ziarna ostrokrawędziste,  
 = -  $3^\circ$  ziarna zaokrąglone,  
 = -  $5^\circ$  ziarna mocno zaokrąglone,

- poprawki uwzględniające kształt ziaren:

- $\Phi_2 = 0^\circ$  ziarna wielkości piasku,  
 = +  $2^\circ$  ziarna wielkości żwirku,  
 = +  $3^\circ$  ziarna wielkości średniego i grubego żwiru,

- poprawki uwzględniające jednolitość uziarnienia

- $\Phi_3 = - 3^\circ$  uziarnienie jednolite,  
 = +  $3^\circ$  uziarnienie dobrze dobrane,

- poprawki uwzględniające stan gruntu:

- $\Phi_4 = - 6^\circ$  stan luźny,  
 =  $0^\circ$  stan zagęszczony.

A. Caquot i J. Kerisel proponują wzór wyrażający wielkość oporu ścinania w zależności od porowatości. Ich wzór ma postać:

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{0,55}{e} \quad (2)$$

gdzie:

- e - wskaźnik porowatości.

Z. Gergowicz zwraca uwagę, że na opór ścinania wpływ ma zarówno tarcie pomiędzy cząstkami gruntu, jak i opór strukturalny, przy czym tarcie pomiędzy cząstkami gruntu nie jest zależne od zagęszczenia lecz od uziarnienia gruntu. Opór strukturalny związany jest natomiast ściśle z porowatością. W pracy [3] proponuje Z. Gergowicz wzór uwzględniający również zagęszczenie początkowe i zagęszczenie wskutek obciążenia. Wzór ten ma postać:

$$\Phi = \Phi_f + \Phi' + \Phi'' = \Phi_f + k(e_o - e_p) + k_1(e_p - e_\sigma) \quad (3)$$

gdzie:

$\Phi_f$  - kąt stoku naturalnego,

$e_o$  - wskaźnik porowatości maksymalnej,

$e_p$  - wskaźnik porowatości początkowej (gruntu nieobciążonego),

$e_\sigma$  - wskaźnik porowatości po przyłożeniu obciążenia normalnego  $\sigma$ ,

$k$  - współczynnik wyrażający wpływ zagęszczenia początkowego (stały dla danego gruntu),

$k_1 = \frac{\cos \Phi'}{\sigma}$  - współczynnik wyrażający wpływ zagęszczenia wskutek działania obciążenia  $\sigma$ .

Podstawą do sporządzenia wykresu obrazującego związek między  $e$  i  $\sigma$  stanowią krzywe ściśliwości, wyznaczone dla różnych porowatości początkowych.

S. Pisarczyk zwraca uwagę, że wytrzymałość gruntów gruboziarnistych zależy nie tylko od grubych ziarn, ale i od zawartości drobnoziarnistego wypełniacza. Proponuje on stosowanie wzorów o postaci:

$$\Phi = 24^\circ + 20^\circ \lg d_{50} \quad (4)$$

lub

$$\Phi = 14^\circ + 24^\circ \lg d_{\text{sr}} \quad (5)$$

gdzie:

$d_{50}$  - średnica gruntu, poniżej której w gruncie znajduje się 50% ziarn mniejszych lub równych,

$d_{\text{sr}} = \frac{\sum p_i \cdot d_i}{100}$  - średnia ważona średnica,

$d_i$  - średnia arytmetyczna średnic danej frakcji,

$p_i$  - procentowa zawartość tej frakcji.

Przedstawione powyżej wzory empiryczne zostały opracowane dla gruntów sypkich, mineralnych rodzimych. Dlatego określone za ich pomocą kąty tarcia wewnętrznych, gruboziarnistych odpadów kopalnianych, różnią się często istotnie od wartości kątów uzyskanych z badań na aparaturze wielkomiarowej.

wej. Wynika to stąd, że przedmiotowe odpady odbiegają swymi własnościami dość znacznie od typowych gruntów sypkich.

Obserwowane rozbieżności pomiędzy wynikami otrzymywanymi z badań na aparaturze wielkowymiarowej a wartościami uzyskiwanymi ze wzorów szacunkowych, skłaniają do prowadzenia poszukiwań nad ustaleniem zależności odpowiednich dla odpadów kopalnianych. Można je uzyskać przez prowadzenie badań porównawczych w aparatach wielko- i małowymiarowych. Prowadzenie tego typu badań pozwala ponadto na wdrażanie i rozwijanie metod badawczych materiałów gruboziarnistych.

### 3. Badania oporu na ścinanie za pomocą aparatury małowymiarowej

Za pomocą aparatu skrzynkowego AB 2, wyposażonego w skrzynkę o wymiarach w rzucie 120 x 120 mm, przeprowadzono badania wydzielonej frakcji poszczególnych odpadów. Opis aparatu podają prace [5], [7]. Do badań użyto materiału drobnoziarnistego powstałego po odsianiu ziarn większych od 10 mm. Próbki zagęszczano bezpośrednio w skrzynkach aparatów, zgodnie z przebiegiem proctorowskiej krzywej zagęszczalności. Tak przygotowane próbki o zbliżonej wilgotności, ścinano przy obciążeniu normalnym 1,0; 2,0 i 3,0 kG/cm<sup>2</sup>. Określenie wartości kątów tarcia wewnętrznego  $\Phi$  i oporu  $\tau_0$  przeprowadzano na próbkach o skokowo zwiększanej wilgotności, poczynawszy od próbek w stanie powietrznie-suchym a skończywszy na próbkach całkowicie nawodnionych. Dla każdego z badanych odpadów przeprowadzono do 11 do 17 oddzielnych badań. W celu uchwycenia rozrzutu wyników badania próbek o wilgotności bliskiej optymalnej powtarzano pięciokrotnie.

Przeprowadzone badania wykazały, że kąty tarcia wewnętrznego drobnej frakcji odpadów o uziarnieniu mniejszym od 10 mm, zagęszczonych wg proctorowskiej krzywej zagęszczalności, wynoszą odpowiednio: dla żupków surowych świeżych 36° ÷ 42°, żupków surowych hańdowych 31° ÷ 41°, żupków węglonych 15° ÷ 42°, żupków przepalonych niezwiętrzałych 34° ÷ 42° oraz żupków przepalonych zwiętrzałych 35° ÷ 43°. Wartości oporu na ścinanie  $\tau_0$  przy  $\sigma_n = 0$ , będące efektem klinowania się ziarn, były niewielkie i nieprzekraczały 0,20 kG/cm<sup>2</sup>. Pełne zestawienie wyników badań oporu na ścinanie drobnoziarnistej frakcji odpadów <10 mm, pochodzących z różnych kopalń zawierają kolumny 9÷13 tablicy 1.

## Zestawienie wyników badań kątów tarcia wewnętrzznego odpadów kapalinianych

Tabela 1

Rodzaj odpadów kapalinianych	Kopalnia lub zakład przerobczy, z którego pochodzą odpady	Wartości kątów tarcia wewnętrznego $\phi'$ i oporu $\sigma_0$ (przy $\sigma_n = 0$ ) odpadów zagęszczonych wg próczonowskiej krzywej zależności otrzymane z badań w wielopłaszczyznowym aparacie skrzynkowym:												Wartości ekstremalne kątów tarcia wewnętrzznego odpadów gubozarnistych ustalone drogą szacunkową wg wzoru (6)
		wielkowieńmiarowym (skrzynka 480×480mm)						małowymiarowym (skrzynka 120×120mm)						
		Wartości ekstremalne kąta tarcia wewnętrzzn. $\phi'$ i oporu $\sigma_0$			Wart. średnie odpowiadaj. wilg. optyj.			Wartości ekstremalne kąta tarcia wewnętrzzn. $\phi$ i oporu $\sigma_0$			Wart. śred. odpowiad. wilg. optyj.			
		$\phi'$ [stop.]	$\sigma_0'$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	ilość badań	$\phi'$ opt	$\sigma_0'$ opt	ilość badań	$\phi$ [stop.]	$\sigma_0$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	ilość badań	$\phi$ opt	$\sigma_0$ opt	ilość badań	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Łupek surowy halibowy	Makoszowy	49° + 42°	0,30 - 0,10	9	42°	0,20	5	38°30' - 33°	0,20 - 0,05	12	35°	0,20	5	47°30' - 40°
Łupek surowy halibowy	Walenty-Wawel	47° + 42°	0,30 + 0,20	9	43°	0,30	5	37° + 31°	0,20 + 0,05	11	34°	0,15	5	46° + 40°
Łupek surowy halibowy	Głiwice	43° + 40°	0,30 + 0,20	9	40°	0,35	5	41° + 33°	0,20 + 0,05	12	38°	0,15	5	44° + 36°
Łupek surowy śmieży	Wujek	49° + 46°30'	0,20 + 0,15	9	44°	0,25	5	41° + 37°	0,10 + 0,00	14	30°	0,05	5	51° + 47°
Łupek surowy śmieży	Głiwice	44° + 39°	0,20 + 0,10	9	41°	0,20	5	42° - 36°	0,05 + 0,00	10	38°	0,05	5	46° + 40°
Łupek przepalony niezwięzły	Miechowice	51° + 43°	0,30 + 0,15	11	43°	0,25	5	44° + 36°	0,20 - 0,00	13	38°	0,15	5	51° + 46°
Łupek przepalony niezwięzły	Głiwice	45° + 38°	0,30 - 0,10	9	42°	0,25	5	42° + 34°	0,15 + 0,00	11	36°	0,15	5	46° + 38°
Łupek przepalony zwięzły	Głiwice	45° + 38°	0,35 + 0,10	11	39°	0,35	5	43°30' + 35°	0,20 + 0,00	13	36°	0,20	5	45°30' + 37°
Łupek Haldex - klasa gruba	Rokitnica	46° + 43°	0,35 + 0,20	9	45°	0,30	5	42° + 36°	0,20 + 0,10	9	37°	0,20	5	49° + 43°
Łupek Haldex - klasa średnia	Rokitnica	—	—	—	—	—	—	40° + 34°	0,16 + 0,05	12	36°	0,15	5	—
Łupek Haldex - klasa drobna	Rokitnica	—	—	—	—	—	—	41° + 15°	0,25 + 0,05	16	29°	0,25	5	—

#### 4. Badania oporu na ścinanie za pomocą aparatury wielkowymiarowej

Badania oporu na ścinanie grubo skruszonych odpadów (uziarnienie naturalne) przeprowadzono na aparacie wielkowymiarowym AB 3. Opis aparatu można znaleźć w pracach [5], [7]. Przy badaniach posługiwano się komorą prób o wymiarach w rzucie 480 x 480 mm przystosowaną do ścinania wielopłaszczyznowego.

Ścinaniu poddawano próbki o wilgotnościach i ciężarach objętościowych szkieletu odpowiadających krzywym zagęszczalności. Wymienione badania wykonano przy wilgotności optymalnej oraz dla 1 punktu odpowiadającego wilgotności powietrzno-suchej, 1+2 punktów o wilgotnościach poniżej wilgotności optymalnej i dla 1+2 punktów o wilgotnościach powyżej wilgotności optymalnej. Ta ostatnia próba odpowiadała z reguły wilgotności maksymalnej, przy której możliwe było jeszcze prowadzenie badań. Dla punktu charakterystycznego, tj. punktu odpowiadającego wilgotności optymalnej, wykonywano po 5 badań. Dla punktów pozostałych po 1 badaniu. Wykonywanie dla każdego punktu krzywej zagęszczalności po 5 badań dla gruntów gruboziarnistych wymagane jest jedynie w przypadku zapór zbiorników wodnych o wysokościach większych od 50 m. Dla nasypów o niższych wysokościach ogranicza się ilość badań od 1+2 dla każdego punktu krzywej zagęszczalności. Wynika to z bardzo dużej pracochłonności przygotowania prób i długiego przebiegu badań.

Badania wykonywano przy obciążeniu normalnym 1,0; 2,0 i 3,0 kg/cm<sup>2</sup>. Dla każdego stopnia obciążenia normalnego formowano oddzielną próbkę o możliwie jak najbardziej zbliżonej wilgotności. Badania oporu na ścinanie odpadów przeprowadzano w pełnym zakresie dla wszystkich analizowanych w pracy rodzajów odpadów kopalnianych. Wyniki badań zestawiono w kolumnach 3+7 tablicy 1.

Dla odpadów gruboziarnistych uzyskano podobne wartości kątów tarcia wewnętrznych zarówno dla łupków surowych  $\Phi = 39^{\circ} \div 49^{\circ}$  jak i łupków przepalonych  $\Phi = 38^{\circ} \div 51^{\circ}$ . Wpływ stopnia zwietrzenia odpadów nie jest wyraźnie dostrzegalny. Wynika to stąd, że większe okruchy skalne, zwietrzałe jedynie powierzchniowo, zachowują nadal dużą wytrzymałość. Gruboziarniste łupki surowe odwęglone typu Haldex wykazują wartości kątów tarcia wewnętrznego nieco mniejsze  $\Phi = 43^{\circ} \div 46^{\circ}$ . Odpady te bowiem z uwagi na ich równoziarnisty charakter zagęszczają się znacznie trudniej. Przy badaniach wszystkich omawianych rodzajów gruboziarnistych odpadów kopalnianych otrzymywano opór  $\tau_0$  przy  $\sigma_n = 0$  rzędu  $0,10 \pm 0,35$  kg/cm<sup>2</sup>. S. Pisarczyk [9] zaleca, aby w przypadku stosowania w badaniach oporu na ścinanie aparatu skrzynkowego z ramkami, przyjmować do obliczeń kąt tarcia wewnętrzного zmniejszony o około 10%, a początkowy opór  $\tau_0$  przy  $\sigma_n = 0$  pomijać. Opór  $\tau_0$  jest bowiem efektem wzajemnego klinowania się okruchów gruboziarnistych. Występowanie podobnego zjawiska w ostrokrawędzistych piaskach za-

gęszczanych przez wibrację obserwował w swych badaniach Z. Szafran. Zjawisko takie zostało stwierdzone również przy ścinaniu popiołów i żużli podczas badań prowadzonych przez J. Waluka [5].

#### 5. Porównanie wyników badań uzyskanych w aparacie wielko- i małowymiary- wym

Badania odpadów kopalnianych o różnym stopniu rozdrobnienia, przeprowadzone w aparacie wielko- i małowymiarywym wykazały, że opór ścinania zależy od procentowej zawartości ziarn grubych ( $> 10$  mm), rodzaju odpadów, jednolitości uziarnienia, zagęszczenia i wilgotności.

Okazuje się, że przy zawartości ziarn grubych rzędu 30÷40%, kąty tarcia wewnętrzznego, określone z badań na aparacie wielkowymiarywym, są większe o  $2^{\circ} \div 3^{\circ}$  od kątów uzyskanych za pomocą aparatury małowymiarywej dla frakcji 0÷10 mm. Przy zawartości ziarn grubych rzędu 41÷60% wzrost kątów tarcia wewnętrzznego wynosi  $4^{\circ} \div 7^{\circ}$ , natomiast przy zawartości ziarn grubych rzędu 61÷70% kąty wzrastają już o około  $8^{\circ} \div 10^{\circ}$ . Maleją natomiast stopniowo kąty tarcia wewnętrzznego określone dla odpadów o zawartości ziarn grubych większej od 70%. Niedostatek ziarn drobnych wywołuje bowiem wzrost porowatości odpadów.

Dla odpadów surowych świeżych uzyskano nieco większe wartości kątów tarcia wewnętrzznego niż dla odpadów surowych hałdowych. Ziarna tych ostatnich są bowiem mniej ostre. Odpady świeże, nie poddane jeszcze procesom wietrzenia, mają z kolei ostre krawędzie ziarn i kształt nieregularny. Kształt ziarn decyduje więc w dużym stopniu o tym, czy opór ścinania danych odpadów jest większy, czy też mniejszy. Podobnie jest z odpadami przepalonymi niezwietrzalymi i zwietrzalymi.

Pewną rolę odgrywa również jednolitość uziarnienia odpadów. Materiał hałdowy ma z reguły uziarnienie niejednolite. Jednolitość uziarnienia wpływa ujemnie na opór ścinania odpadów.

Dość istotny jest również wpływ zagęszczenia i wilgotności. Odpady zagęszczone charakteryzują się znacznie większymi kątami tarcia wewnętrzznego w porównaniu z odpadami luźno usypanymi. Wraz ze wzrostem wilgotności odpadów obserwuje się stopniowy spadek wartości kątów tarcia wewnętrzznego.

#### 6. Metoda empiryczna określania wartości kątów tarcia wewnętrzznego odpadów kopalnianych

W wyniku szeregu prób, przeprowadzonych na różnych rodzajach odpadów ustalono postać wzoru empirycznego, odpowiednią dla grubo skruszonych od-

padów kopalnianych. Wspomniany wzór zbudowano zgodnie z zasadami budowy wzoru Hansena [2], [4].

Ma on postać:

$$\Phi = \Phi_m + \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 \quad (6)$$

gdzie:

- $\Phi$  - kąt tarcia wewnętrznego dla odpadów gruboziarnistych
- $\Phi_m$  - kąt tarcia wewnętrznego uzyskany z badań na aparacie małowymiarowym AB 2 dla frakcji  $0 \div 10$  mm,
- $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$  - poprawki uwzględniające odchylenia od materiału badanego za pomocą aparatury małowymiarowej.

Zaleca się stosowanie następujących poprawek korygujących:

- poprawki uwzględniające rodzaj odpadów:

- $\Phi_1 = + 2^\circ$  odpady nieprzepalone świeże i przepalone niezwięznięte,
- $= 0^\circ$  odpady nieprzepalone hałdowe i przepalone zwięznięte,

- poprawki uwzględniające procentową zawartość ziarn grubych ( $> 10$  mm):

- $\Phi_2 = + 2^\circ$  zawartość ziarn grubych  $> 30\%$ ,
- $= + 4^\circ$  zawartość ziarn grubych  $> 40\%$ ,
- $= + 6^\circ$  zawartość ziarn grubych  $> 50\%$ ,
- $= + 8^\circ$  zawartość ziarn grubych  $> 60\%$ ,
- $= + 6^\circ$  zawartość ziarn grubych  $> 70\%$ ,

- poprawki uwzględniające jednolitość uziarnienia:

- $\Phi_3 = - 3^\circ$  odpady równoziarniste,
- $= 0^\circ$  odpady różnoziarniste,

- poprawki uwzględniające stan zagęszczenia odpadów:

- $\Phi_4 = 0^\circ$  odpady zagęszczone,
- $= - 6^\circ$  odpady luźno usypane.

Wzoru B. Hansena w normalnej postaci nie należy stosować do szacunkowego określania kątów tarcia wewnętrznego gruboziarnistych odpadów kopalnianych. Ze wzoru tego, przy uwzględnieniu wszystkich wpływów, uzyskuje się wartości kąta tarcia wewnętrznego zawarte w przedziale  $22^\circ \div 48^\circ$ . Tymczasem kąty tarcia wewnętrznego grubo skruszonych odpadów kopalnianych wahają się w granicach  $38^\circ \div 51^\circ$ .

Wartości ekstremalne kątów tarcia wewnętrznego przedmiotowych odpadów gruboziarnistych ustalone drogą szacunkową według wzoru (6) zestawiono w kolumnie 15 tablicy 1.



## 7. Wnioski

1. Zaproponowana metoda szacunkowego określania wartości kątów tarcia wewnętrznych odpadów kopalnianych jest metodą pierwszego przybliżenia. Może być jednak z powodzeniem stosowana we wstępnej fazie projektowania większych budowli hydrotechnicznych i inżynierskich oraz w projektach technicznych drugorzędnych budowli ziemnych.
2. Stosowanie zaproponowanej metody jest dopuszczalne tylko dla odpadów pochodzących z hałdy lub fragmentu hałdy jednorodnej pod względem rodzaju. Zasadą powinno być w tym przypadku co najmniej makroskopowe podobieństwo odpadów.
3. Nie należy jednak rezygnować z wyposażenia laboratoriów geotechnicznych, podległych resortowi górnictwa, w aparaturę wielkowymiarową. Badania na aparaturze wielkowymiarowej są bowiem w szeregu przypadkach niezastąpione.

## LITERATURA

- [1] Caquot A., Kerisel J.: *Traité de Mécanique des Sols*. Paris 1936.
- [2] Gergowicz Z.: Badania wytrzymałości ośrodków sypkich dla celów budownictwa podziemnego. Praca habilitacyjna. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej, nr 60. Wrocław 1962.
- [3] Gergowicz Z.: Związki między porowatością a wytrzymałością gruntów sypkich na ścinanie. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej. Zeszyt specjalny nr 1 - Budownictwo. Wrocław 1962.
- [4] Hansen Binch J., Lundgren H.: *Hauptprobleme der Bodenmechanik*. Berlin 1960.
- [5] Kawalec B.: Właściwości fizyczne i mechaniczne odpadów kopalnianych jako gruntu budowlanego. Praca doktorska. Biblioteka Główna Politechniki Śląskiej. Gliwice 1973.
- [6] Kawalec B.: Zagęszczalność nasypów z odpadów kopalnianych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej - Budownictwo nr 29, Gliwice 1972.
- [7] Kawalec B., Śliwa J.: Badania własności mechanicznych odpadów kopalnianych w aparatach różnowymiarowych. Wzbogacanie i utylizacja kopalnin. Nr 2/1973.
- [8] Kidybiński A., Żywirski K.: Polowa metoda wyznaczania stopnia zagęszczenia materiału zwałowego. Przegląd Górniczy Nr 10/1970.
- [9] Pisarczyk S.: Cechy fizyko-mechaniczne gruntów gruboziarnistych niektórych dolin rzek górskich. Praca doktorska. Biblioteka Główna Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1970.

## ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ УГЛОВ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Р е з ю м е

В статье излагаются применяемые эмпирические методы определения значений углов внутреннего трения крупнозернистых естественных грунтов, а также предлагаемый автором метод эмпирического определения значения угла внутреннего трения крупнокрошенных шахтных отходов. Полученные этим путем результаты были сопоставлены с результатами исследований, проведенных на крупногабаритной аппаратуре. Метод имеет точность, достаточную для проектной практики.

## EMPIRICAL METHODS OF FIXING THE VALUES OF ANGLES ON INTERNAL FRICTION OF THICK-GRAIN MATERIALS

### S u m m a r y

The article contains the applied methods of empirical fixing the values of internal friction of thick-grain natural grounds and the proposed by the author method of empirical determination of values of internal friction of thick-crushed mining waste materials. The results obtained in this way have been compared with the results of research works carried out by means of high-measurement apparatus. The method has a sufficient, for projecting practice exactness.