

Jacek KAMIŃSKI

Osrodek d s. Eksploatacji Górniczej - Zakład Technologii Podszadzki  
Głównego Instytutu Górnictwa

#### BADANIA PRZEPŁYWU MIESZANINY PODSZADZKOWEJ W RUROCIĄGACH NACHYLONYCH

**Streszczenie.** W toku badań przepływów mieszaniny podszadzkowej piaskowo-wodnej na stanowisku poligonowym wykonano w rurociągach podszadzkowych pomiary jednostkowych spadków ciśnienia wraz z odpowiadającymi im parametrami: prędkością przepływu, gęstością mieszaniny i nachyleniem rurociągu. Dobrano funkcje najlepiej aproksymujące wyniki pomiarów dla zależności jednostkowych spadków ciśnienia od prędkości i gęstości mieszaniny dla rurociągu  $\varnothing = 0,150\text{m}$  i  $\varnothing = 0,185\text{m}$ . Uzyskano dla poszczególnych nachyleń rurociągów zależności różniące się wartością współczynnika proporcjonalności "k". Obliczono funkcję aproksymującą zależność współczynnika "k" od nachylenia rurociągów.

#### 1. Wstęp

W Zakładzie Technologii Podszadzki Głównego Instytutu Górnictwa prowadzone są między innymi prace z zakresu hydrotransportu ziarnistych ciał [4] stałych. Główną instalacją przeznaczoną do tego celu jest stanowisko pomiarowe ZIP-1 [3] będące częścią Zespołu Instalacji Pomiarowych służącego do badań podszadzki hydraulicznej i parametrów jej przepływu.

Stanowisko ZIP-1 jest modelem kopalnianej instalacji podszadzkowej. Zbudowane jest z dwóch pętli rurociągów pomiarowych o średnicach nominalnych  $\varnothing = 0,150\text{m}$  i  $\varnothing = 0,185\text{m}$ . Jeden z krańców pętli jest podnoszony wciągarką elektryczną. Dzięki temu istnieje możliwość uzyskania dowolnego nachylenia rurociągów względem poziomu w zakresie  $0^\circ$  do  $90^\circ$ . Każda z pętli posiada dwa odcinki pomiarowe, z których jeden jest nachylony w dół, a drugi w górę. Długość pojedynczego odcinka pomiarowego wynosi 10m.

Przepływ mieszaniny w rurociągach jest wymuszony dwiema pompami wirowymi. Można także uzyskać spad grawitacyjny wykorzystując w tym celu układ rurociągów i pomocniczy zbiornik przelewowy ulokowany na szczycie wieży o wysokości 15m. W dotychczasowych badaniach możliwość ta nie była wykorzystywana: mieszaninę kieruje się z pomp wprost do wybranej pętli rurociągów pomiarowych, gdzie przepływa wielokrotnie w obiegu zamkniętym.

Na aktualnym etapie rozwoju instalacji ZIP-1 prędkość przepływu mieszaniny reguluje się zaworami. Zakres uzyskiwanych prędkości przepływu zawiera się w granicach  $v = /0 \div 10/ \text{ m/s}$  i zależy od gęstości mieszaniny podszadzkowej. Dla maksymalnej gęstości  $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$  prędkość przepływu ogranicza się do  $v = /3 \div 6,5/ \text{ m/s}$ .

Aparatura pomiarowa zainstalowana na stanowisku tworzy zestaw składający się z gęstościomierza izotopowego, przepływomierza indukcyjnego, kompletu manometrów [ 6 ] i skanera izotopowego. Zestaw ten w bieżącym roku połączony został w system sterowany mikroprocesorem, co umożliwia systematyczną rejestrację danych pomiarowych i ich wstępną "obróbkę".

Aparaturę pomocniczą stanowią upusty do pobierania próbek gęstości mieszaniny, zwężki Venturiego, waga, naczynia miarowe, termometry itp.

Przed wprowadzeniem do pomiarów nowego typu urządzeń testuje się je i ocenia z punktu widzenia dokładności i niezawodności działania, a zatem przydatności do badań i ewentualnego zastosowania w praktyce przemysłowej [ 5 ].

## 2. Badania przepływu mieszaniny podsadzkowej piaskowo-wodnej

Badania przepływu [ 4 ] mieszaniny podsadzkowej piaskowo-wodnej prowadzone na instalacji ZIP-1 zmierzają do określenia zależności pomiędzy podstawowymi parametrami przepływu w rurociągach podsadzkowych, a zwłaszcza zależności między jednostkowym spadkiem ciśnienia a prędkością przepływu i gęstością mieszaniny. Uzyskane wyniki powinny umożliwić zarówno weryfikację zależności określonych w GIG w latach pięćdziesiątych [1,2], jak też rozszerzenie zakresu tych zależności.

W latach od 1982 do 1984 na stanowisku ZIP-1 prowadzono pomiary w rurociągach  $\phi = 0,15\text{m}$  i  $\phi = 0,185\text{m}$  przy nachyleniach  $\alpha = \pm 0,^\circ \pm 15^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ$  na mieszaninie piaskowo-wodnej o gęstości  $\rho = 1200 \pm 1750/\text{kg}/\text{m}^3$ .

Dla zadanej gęstości mieszaniny i nachylenia wybranego rurociągu oraz możliwego do uzyskania zakresu prędkości przepływu wykonano serie pomiarów polegające na odczytywaniu wskazań przyrządów dla kilku lub kilkunastu wartości prędkości przepływu.

Każdorazowo przeprowadzano dwa pomiary /pomiar podstawowy - a i pomiar pomocniczy - b/ następujących wielkości fizycznych:

- prędkości przepływu - za pomocą:
  - a/ przepływomierza elektromagnetycznego,
  - b/ zwężki Venturiego z różnicowym manometrem rtęciowym,
- ciśnienia panującego na końcach odcinków pomiarowych /wznoszącego i opadającego/ - przy użyciu manometrów:
  - a/ rtęciowych,
  - b/ prężnych z nadajnikami potencjometrycznymi,
- gęstości mieszaniny - za pomocą
  - a/ gęstościomierza izotopowego,
  - b/ metody objętościowo-masowej.

W celu kontrolowania warunków przepływu mierzono temperaturę mieszaniny na początku i na końcu serii pomiarów. Po przekroczeniu temperatury mieszaniny  $t = 40^\circ\text{C}$  pomiary przerywano.

Na podstawie zmierzonych różnic ciśnień pomiędzy punktami pomiarowymi, obliczono jednostkowe spadki ciśnienia.

W przeprowadzonych pomiarach uzyskano około 1,5 tysiąca wartości jednostkowych spadków ciśnienia wraz z odpowiednimi wartościami prędkości przepływu, gęstości mieszaniny i nachylenia rurociągu. Do ostatecznych obliczeń pozostawiono około 30% danych odrzucając wyniki pomiarów wstępnych wykonanych na wodzie czystej oraz na mieszaninie podczas "szlifowania" rurociągów.

Dane pomiarowe pogrupowano wg nachylenia rurociągu i obliczono dla każdej z tych grup wartość współczynnika "k", w oparciu o zależność

$$J_{Ei} = \lambda_w \frac{v_i^2 \cdot \rho_{wi}}{2D} + k \frac{\rho_{mi}}{v_i} \cdot (\rho_{mi} - \rho_w) \quad /1/$$

gdzie:

$J_E$  - jednostkowe spadki ciśnienia [Pa/m],

$\lambda_w$  - bezwymiarowy współczynnik oporów przepływu wody. Wg wzoru Leesa

$$\lambda_w = 0,00714 + 0,6104 \text{Re}^{-0,35}$$

Re - liczba Reynolds'a

dla średnich warunków instalacji ZIP-1 wynosi:

$$\text{dla } \phi = 0,150 \text{ m } \lambda_w = 0,0127$$

$$\text{dla } \phi = 0,185 \text{ m } \lambda_w = 0,0123$$

$v_i$  - prędkość przepływu [m/s],

$g$  - przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>],

$D$  - średnica wewnętrzna rurociągu [m],

$\rho_{mi}$  - gęstość mieszaniny [kg/m<sup>3</sup>],

$\rho_w$  - gęstość wody [kg/m<sup>3</sup>].

Poszukiwaną wartość współczynnika "k" obliczono, obliczając minimum funkcji:

$$S = \sum_{i=1}^n [J_{Ei} - J_E(v_i, \rho_i)]^2 \quad /2/$$

Po podstawieniu do wzoru /2/ wyrażenie /1/ i zrózniczkowaniu względem "k" uzyskujemy

$$\frac{\partial S}{\partial k} = -2 \sum_{i=1}^n (\rho_{mi} - \rho_w) \frac{\rho_{mi}}{v_i} [J_{Ei} - J_E(v_i, \rho_i)] \quad /3/$$

Po przyrównaniu  $\frac{\partial S}{\partial k} = 0$  oraz po wykonaniu przekształceń zależności /3/ otrzymujemy wzór umożliwiający obliczenie współczynnika "k".

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (\rho_{mi} - \rho_w) \frac{\rho_{mi}}{v_i} J_{Ei} - \frac{\lambda_w \cdot \rho_w}{2D} v_i^2}{\sum_{i=1}^n \frac{\rho_{mi} - \rho_w}{v_i^2}} \quad /4/$$

Obliczono wartość współczynnika "k" dla nachyleń  $\alpha = 0^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ$  dla rurociągu  $\emptyset = 150$  m oraz  $\alpha = 0^\circ, \pm 15^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ$  dla rurociągu  $\emptyset = 0,185$  m.

Dla rurociągu  $\emptyset = 0,150$  m wartość współczynnika "k" skorygowano z uwzględnieniem różnej chropowatości rurociągów (wznoszącego i opadającego), dla rurociągu o  $0,185$  m korygowanie nie było konieczne.

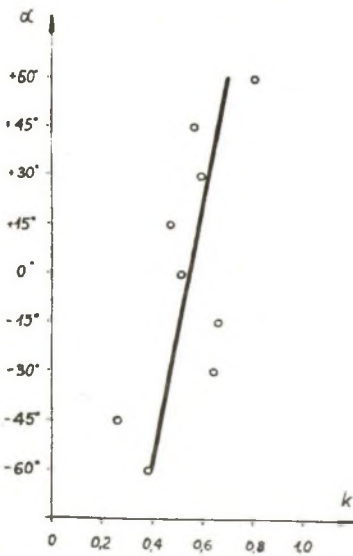
Pomimo znacznego rozrzutu wartości współczynnika "k" widoczna jest pewna zależność dająca się aproksymować prostą:

$$k = A + B\alpha$$

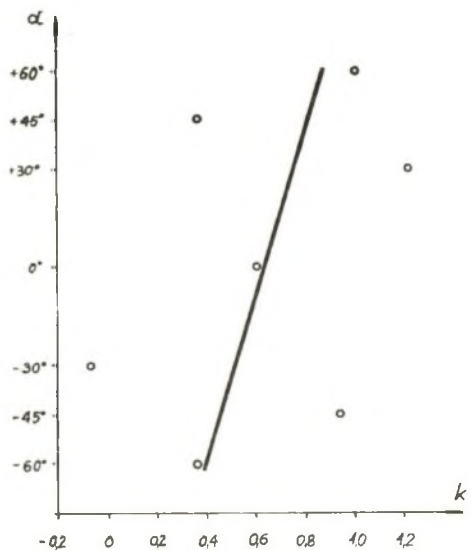
dla rurociągu  $\emptyset = 0,150$  m,  $A = 0,63$   $B = 0,0039$

dla rurociągu  $\emptyset = 0,185$  m,  $A = 0,55$   $B = 0,0026$

Obliczone proste aproksymujące wrysowano w wykresy  $k = f(\alpha)$ .



Rys.1. Zależność  $k = f(\alpha)$  dla  $\emptyset = 0,185$  m



Rys.2. Zależność  $k = f(\alpha)$  dla  $\emptyset = 0,150$  m

### 3. Wnioski

1. Z wykresów wynika, że współczynnik "k" nie jest wartością stałą dla danej średnicy rurociągu.
2. Wartości współczynnika "k" dla rurociągów poziomych są mniejsze niż dla rurociągów wznoszących i większe niż dla rurociągów opadających.
3. Wartości współczynnika "k" dla rurociągu  $\emptyset = 0,150$  m są większe niż dla rurociągu  $\emptyset = 0,185$  m, tym większe im większe nachylenie rurociągu w zakresie  $\alpha = (-60 + 60)$ .

Literatura

1. Adamek R.: Wpływ jakości materiału podsadzkowego na efekty podsadzania wyrobisk górniczych, Prace GIG. Komunikat nr 447, Katowice 1968,
2. Lisowski A., Groyecki A., Sołtysek K., Wyszomirski J., Prymula J., Starzyński S., Palka L.: Możliwość opracowania empirycznych równań przepływu oraz wyznaczenie za ich pomocą optymalnego ciężaru właściwego mieszaniny podsadzkowej i wydajności rurociągów podsadzki hydraulicznej, Prace GIG, Komunikat nr 380, Katowice 1965
3. Kamiński J.: Instalacje do badania hydrotransportu ciał stałych w rurociągach, Przegląd Górniczy nr 11/12 1982
4. Bąk E., Kamiński J.: Badania przepływu mieszanin ciał stałych i wody zrealizowane na stanowisku ZIP-1, V Seminarium Transport i Sedymentacja Cząstek Stałych, Wrocław 1984
5. Bąk E., Wiklik A.: Ocena aparatury pomiarowej dla przemysłowych instalacji hydrotransportu, V Seminarium Transport i Sedymentacja Cząstek Stałych, Wrocław 1984
6. Kamiński J.: Quecksilbermanometer mit elektronischem Wandler und Druckfernablesung, Hydromechanisation 4, Karl-Marx-Stadt 1985

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Palarski

Wpłynęło do Redakcji 1987.02.23

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКА ЗАКЛАДОЧНОЙ ГИДРОСМЕСИ  
В НАКЛОНЕННЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Р е з ю м е

В предприятии закладочной технологии Главного института горного дела в г. Katowice ведутся работы по гидротранспорту зернистых твердых тел.

Исследования являются продолжением веденных в Главном институте горного дела с половины пятидесятых годов работ над гидротранспортом угля и закладочных материалов.

В настоящее время ГИГД располагает Составом измерительных установок (СИУ), состоящих из нескольких исследовательских мест, на которых по поручению кроме закладочной песчано-водяной гидросмеси исследуются смеси содержащие: пыли из электростанций, производственные отходы цемента и другие твердые тела как напр. аккумуляторный лом.

Главной исследовательской установкой "СИУ" является место № 1 (СИУ-1) предназначенное для измерения параметров потока гидравлической закладки. Установка оснащена трубопроводами диаметром в:  $\phi = 0,10$  м,  $\phi = 0,32$  м и закладочными трубопроводами:  $\phi = 0,15$  м и  $\phi = 0,185$  м. Закладочные трубопроводы построены в форме петель состоящих из двух измерительных отрезков длиной по 10 пог. м., могут быть наклоненные под любым углом к уровню.

Установка оснащена составом измерительных оборудований, предоставляющим возможность автоматического измерения и записи данных.

В ходе существующих до сих пор исследований закладочной песчано-водяной гидросмеси была извлечена стоимость единичных падений давления, плотности смеси и наклона трубопроводов.

Обработку результатов выполнено по нескольким ступеням с помощью метода очередных приближений, исследуя связь известных по литературе образцов с результатами измерений. В итоге был подобран упрощенный образец, учитывающий измеренные параметры, а также были подсчитаны выступающие в нем опытные коэффициенты.

Исследования потоков закладочной гидросмеси в том числе смеси, содержащей послеугольные отходы, будут продолжаться после окончания модернизации места СИУ-1. Модернизация охватывает удвоенную максимальную скорость потока и ее бесступенчатое регулирование, четырехкратное увеличение допустимой величины зёрен твердого тела в исследуемой смеси, а также введение продуктивной дозировки твердого тела и его устранение из смеси после исследований.

#### TESTS ON HYDRAULIC MIXTURE FLOW IN DIPPING PIPELINES

#### S u m m a r y

The Establishment for Stowing Technology of the Central Mining Institute in Katowice carries out research on hydraulic handling of grainy solids. The investigations are continuation of studies on hydraulic handling of stowing materials performed by the Central Mining Institute since mid fifties.

At present the Institute employs a set of measurement installations ("ZIP") incorporating several test stands; apart from sand-water stowing mixtures, testing involves mixtures containing dust from power plants, waste materials from cement plants and other solids, eg. battery waste.

The principal unit of ZIP is test stand No 1 (ZIP-1) for measurement of hydraulic pipelines of  $\phi = 0,10$  m and  $\phi = 0,32$  m in diameter and stowing pipelines of  $\phi = 0,15$  m and  $\phi = 0,185$  m in diameter. Stowing pipelines, constructed in the loop shape, incorporate two 10 m measurement sections and may be inclined at any angle against the horizontal level. The installation is provided with a set of measurement units enabling automatic monitoring and data recording.

So far, the performed tests resulted in data on pressure decrease in the function of flow velocity of sand-water stowing mixture, density of the mixture, as well as inclination of the pipeline.

Data were processed by multi-stage method of subsequent approximations and correlating the formulae known from literature with the actual test results. This effected in selection of a simplified formula, taking into account the measured parameters and calculation of the occurring experimental coefficients.

Tests on flow of stowing mixtures, including mixtures containing coal waste, will be continued on completion of ZIP-1 stand modernization. This is to introduce double maximum flow velocity and its stepless adjustment, four-fold increase of the possible grain size of solids in the tested mixture and to implement an efficient system for solids dosage and removal from mixture after testing.