

ZYGFRYD NOWAK
Główny Instytut Górnictwa
Pion Przeróbki Mechanicznej

O POZORNEJ ANOMALII PRZEPŁYWU CIECZY O HYDROCYKLONIE

Streszczenie: W nawiązaniu do zjawisk przepływu zachodzących w przewodach zamkniętych o ścianach wewnętrznych- chropowatych przedstawiono uproszczony model hydrodynamiczny hydrocyklonu w postaci przewodu stożkowego. Przez analogię do przepływu w przewodzie o stałym przekroju przedstawiono wydatek objętościowy hydrocyklonu jako funkcję chropowatości jego ścian wewnętrznych. Na podstawie wyników doświadczeń wykazano pozorną sprzeczność w ilościowym ujęciu zjawisk przepływu w hydrocyklonach o różnej chropowatości ścian wewnętrznych oraz podano próbę interpretacji tej sprzeczności.

1. Wstęp

Urządzenia stosowane w przemyśle maszynowym posiadają w przeciwieństwie do większości urządzeń z zakresu inżynierii chemicznej czy przeróbki mechanicznej dobrze opracowane podstawy teoretyczne umożliwiające ich konstruowanie. Projektowanie urządzeń stosowanych w inżynierii chemicznej, z uwagi na brak teoretycznych zasad ich pracy, wymaga korzystania w szerokim zakresie z wskaźników opracowanych na drodze doświadczalnej. Występujące w czasie przebiegu niektórych procesów przerobczych zjawiska przepływu są tak złożone, że podanie ścisłych zależności teoretycznych jest obecnie niemożliwe. W związku z tym dążymy zawsze do przybliżenia wyników prac doświadczalnych do rzeczywistego przebiegu zjawiska. Bardzo pomocne w tych przypadkach są badania modelowe, których wyniki opracowane analitycznie pozwalają na podanie metod obliczeniowych umożliwiających konstruowanie urządzeń i przewidywanie wyników ich pracy z wystarczającą dla praktycznych celów dokładnością.

Do urządzeń, których projektowanie i konstruowanie napotyka na pewne trudności zaliczyć można hydrocyklony, które pracują na zasadzie wykorzystania siły odśrodkowej wirującego strumienia zawiesziny.

Zjawiska przepływu występujące w hydrocyklonie są szczególnie złożone, gdyż mamy tu do czynienia z przepływami wirowymi i cyrkulacyjnymi.

Jednym z czynników odgrywających rolę przy przepływach cieczy rzeczywistych w przewodach otwartych i zamkniętych jest

współczynnik oporu przepływu, którego wartość zależy między innymi od stopnia wykształcenia wewnętrznej powierzchni przewodu. W ujęciu ilościowym współczynnik oporu oddziałuje na wydatek objętościowy przepływu cieczy powodując jego zmianę w stopniu zależnym od chropowatości ścian przewodu.

W niniejszej pracy przedstawiono ilościowe oddziaływanie chropowatości ścian hydrocyklonu na jego wydajność oraz próbę interpretacji uzyskanych wyników - pozornie odmiennych od związków ilościowych występujących w czasie przepływu w przewodach znanych w hydrocyklonie.

2. Przepływ w przewodach zamkniętych i ilościowe oddziaływanie chropowatości ścian przewodu na natężenie przepływu

W warunkach praktycznych mamy do czynienia w przeważającej liczbie przypadków z przepływami turbulentnymi. Występujący w czasie takiego przepływu spadek ciśnienia [1, 2] można wyrazić w postaci równania:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot w^2 \quad (1)$$

gdzie:

- λ - współczynnik oporu przepływu,
- l - długość rurociągu,
- d - średnica rurociągu,
- γ - ciężar właściwy zawiesiny,
- g - przyspieszenie ziemskie,
- w - prędkość przepływu.

Występujący w równaniu (1) współczynnik λ jest w przypadku rur o niewyczuwalnej chropowatości, zw. gładkimi, funkcją liczby Reynoldsa.

W przypadku rur chropowatych λ jest funkcją liczby Reynoldsa oraz chropowatości względnej przewodu. Dla wyznaczenia wartości λ w jednym i drugim przypadku istnieje cały szereg wzorów empirycznych [1, 2] o ogólnych postaciach:

$$- \text{ dla przewodów "gładkich" } \lambda = C \cdot \text{Re}^m \quad (2)$$

$$- \text{ dla przewodów "chropowatych" } - C \cdot \text{Re}^m \cdot \varrho^n \quad (3)$$

gdzie ϱ jest chropowatością względną:

$$\varrho = \frac{2k}{d} \quad (4)$$

- k - bezwzględna chropowatość - wysokość wybojów ściennych w rurze.

Badania Misesa, Nikuradse, Colebrooka i innych [1, 2] wykazały, że wartość współczynnika λ rośnie ze wzrostem chropowatości względnej ϱ .

Przybliżone równanie na wartość λ dla rur chropowatych ma następującą postać [2]:

$$\lambda = \lambda_0 + 0,11 \operatorname{Re} \frac{k}{d} \quad (5)$$

gdzie:

λ_0 jest współczynnikiem oporu dla rury gładkiej.

Wydatek objętościowy wyznaczony jako iloczyn przekroju rury i prędkości przepływu na następującą postać:

$$v = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\gamma} \frac{1}{\lambda} \frac{d}{l}} \quad (6)$$

Przy stałych wartościach d , l , Δp i γ wydatek będzie funkcją jedynie współczynnika oporu

$$v = k \cdot \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \quad (6')$$

Występujący w równaniu (6') współczynnik λ jest rosnącą funkcją chropowatości bezwzględnej k - równanie (5) - czyli wydatek będzie malał ze wzrostem chropowatości przewodu.

3. Przepływ w hydrocyklonie jako szczególny rodzaj przepływu w przewodzie zamkniętym

Hydrocyklon może traktować w pewnym przybliżeniu jako przewód zamknięty o zmiennym przekroju. Modelem hydrodynamicznym hydrocyklonu może być przewód zbieżny stożkowy. Rozumując podobnie jak w przypadku przewodu o stałym przekroju kołowym można wyznaczyć spadek ciśnienia i wydatek objętościowy jako funkcją parametrów konstrukcyjnych przewodu stożkowego oraz jego chropowatości.

Otrzymuje się podobny wzór strukturalny jak w przypadku przewodu kołowego o stałym przekroju - wzór (6) - przy czym w miejsce wartości d^2 występuje iloczyn $d_p \cdot d_0$ - średnio: wlotowej i wylotowej przewodu stożkowego:

$$v = K \cdot d_0 \cdot d_p \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma} \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{d}{l}} \quad (7)$$

Przyjmując następnie λ jako wartość stałą oraz traktując d/l jako składnik wyrażający wartości kąta zbieżności stożka otrzymamy znany wzór empiryczny na wydajność hydrocyklonów:

$$V = K_1 \cdot d_p \cdot d_p \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \quad (8)$$

Niektóre wzory empiryczne na wydajność hydrocyklonu mają postać (6') tzn. uwzględniają jedynie średnicę otworu wlotowego d_0 :

$$V = K d_0^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \quad (8')$$

W świetle wzoru (7) wydaje się, że wydajność hydrocyklonu winna maleć ze wzrostem współczynnika oporu λ tzn. ze wzrostem chropowatości bezwzględnej ścian hydrocyklonu.

Na rys. 1 przedstawiono funkcję $V = f(\Delta p)$ dla dwóch hydrocyklonów o tych samych parametrach konstrukcyjnych różniących się jedynie jakością materiału, z którego wykonano część stożkową hydrocyklonu.

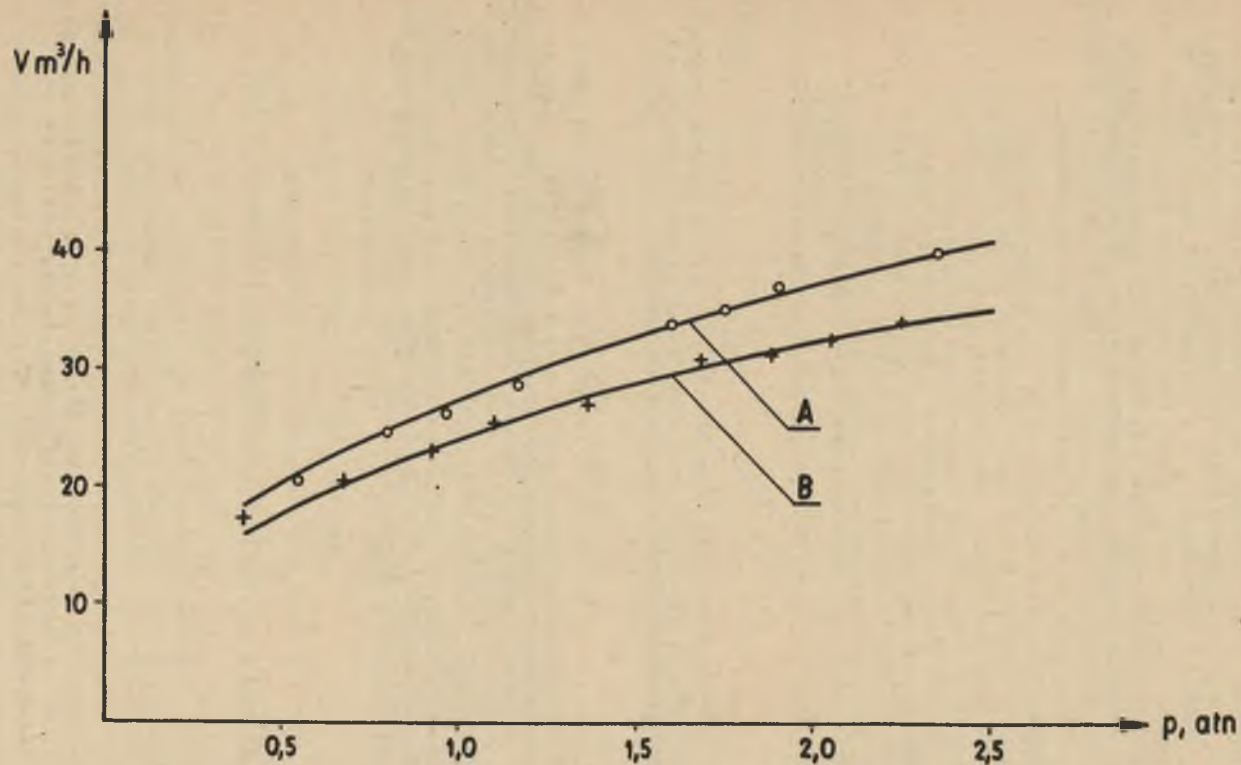
Część stożkową hydrocyklonu A wykonano z żeliwa bardzo chropowatego natomiast hydrocyklon B posiadał część stożkową z odlewu gumowego. Z badań Misera [1] wynika, że współczynnik chropowatości względnej dla przewodu żeliwnego jest około 15-krotnie wyższy niż w przypadku przewodu gumowego tzn. zgodnie z równ. (8) i (8') wydajność dla hydrocyklonu z wykładziną gumową winna być większa niż dla hydrocyklonu żeliwnego. Różnice między krzywą A i B są rzędu 20-30%, przy czym wyższą wydajność wykazuje hydrocyklon o ścianach bardziej chropowatych czyli odwrotnie niż by to wynikało z równań (8) i (8').

4. Wnioski

1. Przepływ cieczy w hydrocyklonie zależy również od wykształcenia powierzchni wewnętrznej hydrocyklonu czego nie uwzględniają dotychczasowe wzory empiryczne.

2. W przypadku dużych różnic w chropowatości ścian wewnętrznych hydrocyklonu uzyskuje się różnice w wydajności rzędu 30%, co nie pozostaje bez wpływu na dokładność stosowanych wzorów empirycznych.

3. Należy przypuszczać, że "niezgodność" występująca między strukturalnym wzorem na wydajność hydrocyklonu (7) a wynikami rzeczywistymi rys. 1 - leży w przyjęciu prędkości wlotowej do hydrocyklonu jako jedynie wpływającej na wydatek objętościowy. Znajduje to wyraz w praktyce w postaci przyjęcia jako Δp wartości ciśnienia wlotowego do hydrocyklonu. Prędkość cząstki cieczy w znajdującej się w hydrocyklonie można rozłożyć na trzy składowe: składową pionową v_z , składową poziomą w kierunku osi hydrocyklonu v_r oraz składową styczną do toru cząstki w hydro-



Rys. 1. Wydajność rzeczywista hydrocyklonu jako funkcja ciśnienia wlotowego do hydrocyklonu dla różnych chropowatości ścian wewnętrznych

cyklonie v_t . Wielkość składowych v_z , v_r , v_t prędkości v jest funkcją paramterów konstrukcyjnych hydrocyklonu w tym również nie uwzględnianej dotychczas chropowatości ścian wewnętrznych.

Wydaje się, że decydującym o wydajności hydrocyklonu, w przypadku stałych wartości: v i parametrów konstrukcyjnych, będzie stosunek $v_t/v_z + v_r$; gdyż ten stosunek decydować będzie o czasie przebywania cząstki cieczy w hydrocyklonie a tym samym o jego wydajności. W przypadku większej chropowatości ścian stosunek ten prawdopodobnie maleje dając w efekcie większy przepływ w kierunku otworów wylotowych hydrocyklonu.

LITERATURA

- [1] Troskolanski A.: Hydromechanika - Warszawa 1962 r.
 [2] Eck B.: Technische Strömungslehre - Springer Verlag, 1958r.

О МНИМОЙ "АНОМАЛИИ" ПРОТЕКАНИЯ ЖИДКОСТИ В ГИДРОЦИКЛОНЕ

Р е з ю м е

В увязке с явлениями течения происходящими в закрытых проводах с шероховатыми внутренними стенками - дается упрощенная гидродинамическая модель гидроциклона в виде конусного провода. По аналогии к течению в проводе с постоянным сечением, представлен объемный расход гидроциклона как функция шероховатости его внутренних стенок.

На основании результатов опытов показана мнимое противоречие в вопросе количественной оценки протекания в гидроциклонах с различной шероховатостью внутренних стенок и сделана попытка выяснения этого противоречия.

APPARENT ANOMALY OF LIQUID FLOW THROUGH A CYCLONE

S u m m a r y

In reference to the flow of fluid in a cylindrical tube with rough walls a simplified hydrodynamic model of a hydrocyclone has been presented. The capacity of flow in that hydrocyclone has been given as a function of roughness of its walls. In comparison with experimental results the apparent discordance has been shown and a trial of explanation the discordance has been given.