

Stanisław DAWIDOWICZ  
Czesław RYBICKI

Instytut Wiertniczo-Naftowy  
Akademii Górniczo-Hutniczej

BADANIA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA USZCZELNIEŃ LABIRYNTOWYCH  
PRZY EKSPLOATACJI WIELOHORYZONTOWYCH  
ZŁÓŻ GAZU ZIEMNEGO

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dotyczących uszczelnień labiryntowych specjalnego typu. Uszczelnienia takie mają umożliwić eksploatację złóż gazu ziemnego przy różnych poziomach jego zalegania. Przedstawiono równanie korelacyjne dla proponowanych uszczelnień, otrzymane w wyniku pomiarów przeprowadzonych na specjalnym stanowisku doświadczalnym.

Eksploatacja złóż gazu ziemnego odbywa się za pośrednictwem odwiertów gazowych. Wyposażenie odwiertu stanowią zapewniające jego stabilność rury okładzinowe, wewnątrz których znajduje się kolumna rur eksploatacyjnych (syfonowych). Gaz ze strefy przyodwiertowej dopływa przez perforację w rurach okładzinowych i odprowadzany jest na zewnątrz za pośrednictwem umieszczonej u góry głowicy.

Początkowe ciśnienie gazu w złożu przyjmuje się w przybliżeniu jako równe ciśnieniu hydrostatycznemu słupa wody nad złożem.

Podstawowymi parametrami eksploatacyjnymi złoża gazowego są: ciśnienie poboru gazu i wydajność odwiertu. Wielkości te określa się metodami inżynierii złożowej na podstawie znajomości wielkości złoża i warunków hydrogeologicznych. Ciśnienie eksploatacyjne stanowi zazwyczaj około 90% ciśnienia w złożu przy braku wypływu gazu.

W przypadku gdy złożo składa się z kilku położonych pod sobą horyzontów stosuje się następujące sposoby eksploatacji:

1. Eksploatacja równoczesna dwu lub więcej horyzontów, dopuszczalna jedynie w przypadku niewielkich różnic ich ciśnień złożowych; powoduje to przepływ gazu z horyzontów niższych do wyższych, komplikując prawidłową eksploatację złoża.
2. Eksploatacja oddzielnymi odwiertami; najlepsza lecz bardzo kosztowna.
3. Eksploatacja z zastosowaniem między horyzontami uszczelniaczy (pakerów); kosztowna i wymagająca bardzo skomplikowanych operacji.

Treścią niniejszego referatu są wyniki badania możliwości oddzielenia poszczególnych horyzontów od siebie za pomocą elementów dławiących redukujących różnice między ciśnieniami eksploatacyjnymi sąsiednich horyzontów. Metoda ta uzyskała patent PRL Nr 171119 należący do autorów.

Wybór właściwej konstrukcji elementu dławiącego był przedmiotem wnikliwej analizy. Pierwsze próby, prowadzone w latach siedemdziesiątych, dały wyniki niezadawalające. Ostatecznie zaproponowano zastosowanie dławnicy labiryntowej umieszczonej między horyzontami. Składa się ona z szeregu płytek zamocowanych w rurach okładzinowych; płytki posiadają otwory nieznacznie większe od średnicy rur syfonowych biegnących wewnątrz uszczelnienia.

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu parametrów konstrukcyjnych dławnicy (liczba płytek, odległość między nimi i szerokość szczeliny) a parametrami eksploatacyjnymi odwiertu (wydajność horyzontu dolnego i ciśnienia eksploatacyjne oddzielonych dławnicą horyzontów).

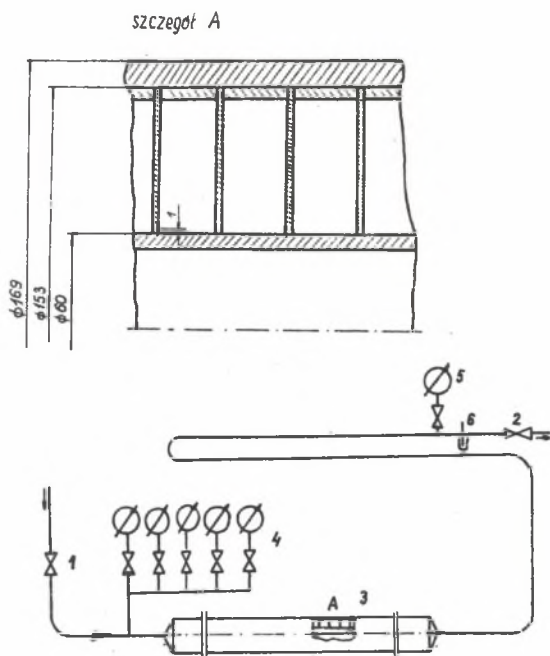
W celu przeprowadzenia doświadczeń wykonano model dławnicy imitujący warunki rzeczywiste. Wykonany element składał się z rury o średnicy wewnętrznej 153 mm, co odpowiada średnicy wewnętrznej stosowanych rur okładzinowych 65/8"; wewnątrz rury osadzono płytki aluminiowe o grubości 1 mm oddzielone od siebie pierścieniami z polistyrenu, co umożliwiło dokładne uszczelnienie ich względem rury okładzinowej. Płytki miały otwory o średnicy  $62 \pm 0,05$  mm tworząc z rurami syfonowymi (2") szczeliny o szerokości 1 mm.

Stanowisko badawcze pokazano na rys. 1. Do elementu dławiącego (3) dopływało sprężone powietrze przez zawór (1) rurą polistyrenową 2", a stamtąd taką samą rurą przechodziło do kreyz mierniczej typu "vona contracta" (6) (wg PN-65/M-53950), skąd odprowadzane było na zewnątrz. Zastosowano trzy średnice wymienionych kreyz, dla różnych strumieni powietrza.

Mierniczy spadek ciśnienia wyznaczano manometrem wodnym o wysokości 2 m. Ciśnienie powietrza na dopływie wyznaczano za pomocą manometrów rurkowych (4) o zakresach 6, 4, 2.5, 1.6 i 1 kp/cm<sup>2</sup> zaś ciśnienie za elementem, kontrolowane manometrem (6), utrzymywano za pomocą zaworu (2) na niezmiennym poziomie. Ilość doprowadzanego powietrza regulowano zaworem (1) mierząc jego ciśnienie za pomocą baterii manometrów (4). Wszystkie manometry miały średnice 250 mm i były wykonane w klasie dokładności 0,4. Ciśnienie atmosferyczne mierzono precyzyjnym barometrem naczyniowym. Temperatury przed i za elementem dławiącym mierzono 100-omowymi czujnikami platynowymi klasy "S", spadek napięcia na czujnikach mierzono wykonanym w Zakładzie miliwoltomierzem lampowym klasy 0,01. Pulsacje powietrza dopływającego do stanowiska były dokładnie stłumione (odległość od sprężarki ponad 100 m).

Badania przeprowadzono w 21 seriach po około 40 pomiarów (łącznie 842).

Zmiennymi parametrami eksploatacyjnymi były: ciśnienie przed elementem (przy niezmiennym ciśnieniu za nim) oraz strumień dławionego powietrza.



Rys. 1. Schemat uszczelnienia i stanowiska badawczego  
Fig. 1. Diagram of the labyrinth seal and test stand

Zmienne parametry konstrukcyjne elementu to liczba płytek  $n$  i odległość między nimi (podziałka)  $t$ . Wszystkie badania przeprowadzono przy niezmiennym szerokości szczeliny.

Znanych jest kilkanaście formuł wiążących ze sobą parametry konstrukcyjne i ruchowe (1, 2, 4).

Jako najwygodniejszą przyjęto zaproponowaną przez A. Stodolę formułę [3]:

$$\dot{m} = Ak \sqrt{\frac{p_1^2 - p_2^2}{np_1}} \rho_1, \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{m}$  - strumień masy gazu,

$A$  - pole szczeliny,

$n$  - liczba płytek,

$p_1$  i  $p_2$  - ciśnienie przed i za elementem dławiącym,

$\rho_1$  - gęstość gazu przed elementem.

Ponieważ liczba płytek była każdorazowo znana, można ją włączyć do mnożnika  $k$  nadając równaniu (1) postać:

$$\dot{m} = AK \sqrt{\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_1}} S_1 \quad (2)$$

Wielkości

$$K = \frac{\dot{m}}{A \sqrt{\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_1}} S_1} \quad (3)$$

zostały wyznaczone doświadczalnie, przy czym we wszystkich seriach pomiarowych średnie odchylenie kwadratowe nie przekracza  $\pm 0,9\%$ . Otrzymane wartości  $K$  ujęto w tabeli 1.

Tabela 1

Wartości parametru  $K$

$n \backslash t$	5	10	15	20	25	30
31	1133,0	885,6	782,1	709,1	671,7	643,3
40	1031,2	819,8	709,8	640,6	588,4	
50	882,5	757,2	643,0	573,2		
69	796,1	659,4	542,1			
70	788,6	624,2				
100	693,5	544,2				

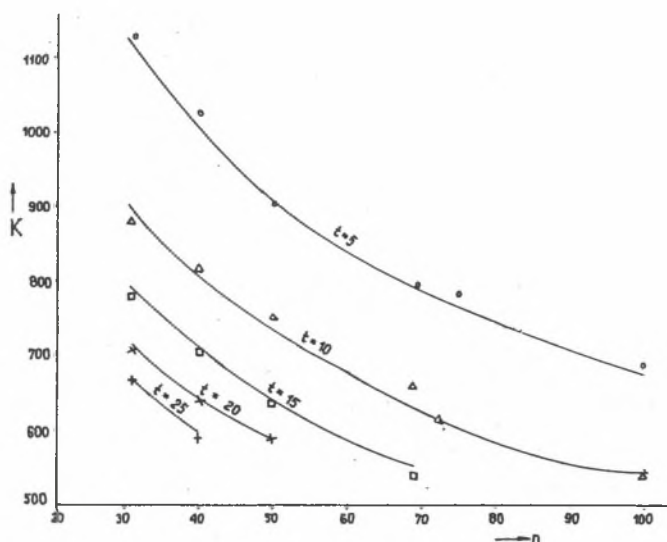
$n$  - liczba elementów,  $t$  - odległość między elementami.

Równanie korelacyjne  $K = K(n,t)$  wyznaczano na maszynie cyfrowej IBM AT i ma ono następującą postać:

$$K = 8325,49 \cdot t^{-0,31798} \cdot n^{-0,434} \quad (4)$$

Współczynnik korelacji wynosił 0,98.

Na rys. 2 pokazano przebieg linii  $K = K(t,n)$  według równania (4) z wprowadzeniem punktów wyznaczonych doświadczalnie. Równanie (4) w połączeniu z (3) pozwala na dobór parametrów konstrukcyjnych  $A$ ,  $n$  i  $t$  elementu dławiącego na podstawie wyznaczonych metodami inżynierii złożowej parametrów eksploatacyjnych odwiertu  $\dot{m}$ ,  $p_1$  i  $p_2$ .



Rys. 2. Graficzna ilustracja wyników pomiarów

Fig. 2. Graphical presentation of the measurement results

## LITERATURA

- [1] Długołęcki R.: Niektóre zagadnienia obliczania przepływów w uszczelnieniach labiryntowych. Prace ITC, Łódź, Nr 2, 1964.
- [2] Samojłowicz G.S., Trojanowski W.M.: Turbiny parowe. PWN, Warszawa 1958.
- [3] Stodola A.: Dampf- und Gasturbinen. Berlin 1922.
- [4] Trutnovsky K.: Berührungsfreie Dichtungen. Wyd. 2, VDJ Verlag, Düsseldorf 1972.

Autorzy dziękują doktorom: S. Biborowi, Ł. Ostrowskiemu, J. Tarnowskiemu i M. Wójcikowskiemu za pomoc techniczną przy doświadczeniach.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Jan Składzień

Wpłynęło do redakcji w marcu 1989 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ  
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОУРОВНЕВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ЗЕМНОГО ГАЗА

Р е з ю м е

В работе представлены результаты экспериментальных исследований касающихся лабиринтных уплотнений специального типа. Уплотнения такие должны позволить на эксплуатацию залежей земного газа в случае его залегания на разных уровнях. Дано корреляционное уравнение для предлагаемых уплотнений, полученное в результате измерений проведенных на специальном опытном стенде.

INVESTIGATIONS ON THE USABILITY OF LABYRINTH  
SEALS FOR MULTILICRIZON NATURAL GAS DEPOSITS MINING

S u m m a r y

The results of experimental investigations concerning labyrinth seals of special type have been presented in the paper. Such labyrinth seals are to make natural gas deposit mining possible at different levels of its deposition. A correlation equation for the suggested seals, obtained in consequence of the measurements taken on a special test stand, has been presented.