

Institut Fizyki UMCS  
Dyrektor: prof. dr hab. Stanisław Szpikowski

Marek SOWA, Juliusz SIELANKO

**Optymalne warunki pracy i czas relaksacji dla zmodyfikowanego separatora wahadłowego**

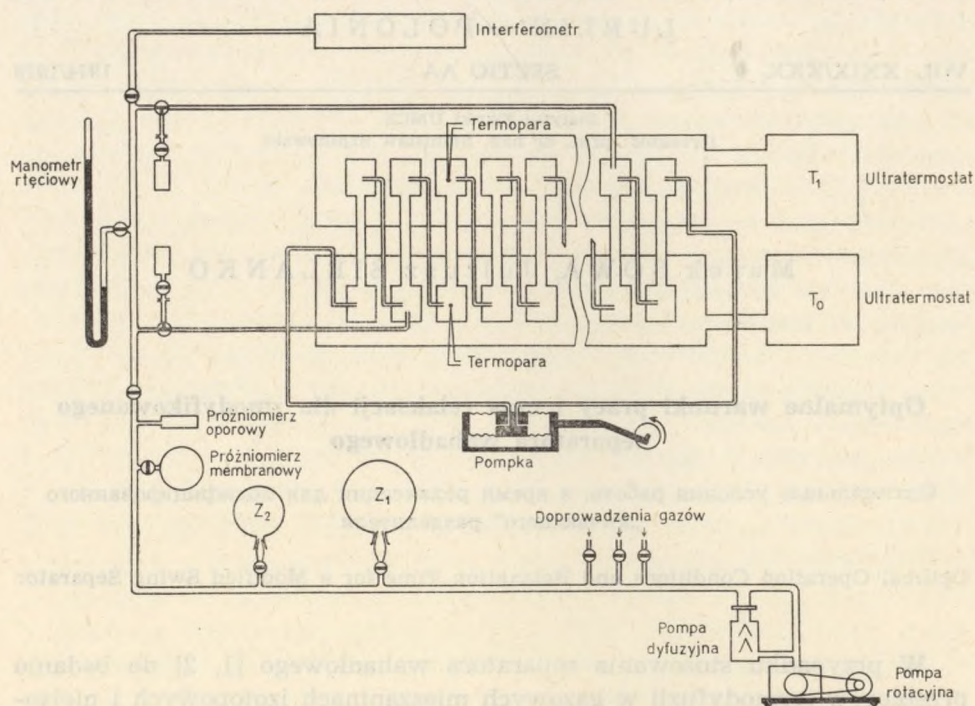
Оптимальные условия работы и время релаксации для модифицированного „качающего” разделителя

Optimal Operation Conditions and Relaxation Time for a Modified Swing Separator

W przypadku stosowania separatora wahadłowego [1, 2] do badania przebiegów termodyfuzji w gazowych mieszaninach izotopowych i nieizotopowych bardzo ważna jest znajomość optymalnych warunków pracy separatora oraz czasu relaksacji, na którego podstawie można określić czas potrzebny do ustalenia się równowagi termodyfuzyjnej w aparaturze. Zwykle warunki optymalne określa się na podstawie doświadczalnie znalezionych obszarów *plateau* dla rozdzielania w funkcji okresu przepompowań gazu i amplitudy objętości przepompowywanego gazu w jednym cyklu. O ile rozdzielanie w funkcji okresu przepompowań nie powinno zależeć od geometrii aparatury, to rozdzielanie w funkcji amplitudy przepompowywanego gazu będzie w istotny sposób zależało od kształtu i rozmiarów pojedynczych stopni separatora. Dlatego szczególnie ta ostatnia zależność powinna być indywidualnie sprawdzona dla danego typu aparatury.

Celem badań było określenie optymalnych warunków pracy zmodyfikowanego separatora wahadłowego [3]. Do sprawdzenia pracy separatora wybrano mieszaninę  $H_2-CO_2$ .

Schemat aparatury przedstawiony jest na ryc. 1, a niektóre dane liczbowe charakteryzujące aparaturę zebrane są w tab. 1. Separator składa się z dwudziestu stopni, przy czym dwa skrajne stosowane są jedynie do oddzielania pompki gazowej od pozostałych stopni separatora. Wprowadzenie dwu dodatkowych stopni, zaproponowane po raz pierwszy przez Batabyala i innych [3], pozwala na uniknięcie zakłóceń spowodowanych

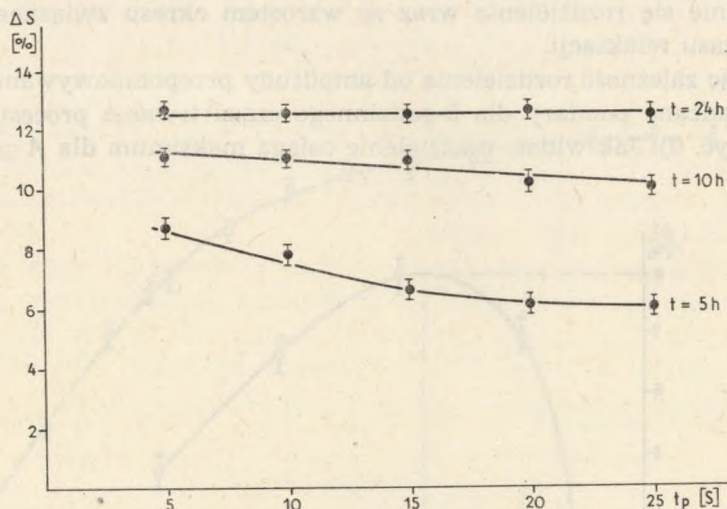


Ryc. 1. Schemat aparatury

Tab. 1. Niektóre dane charakteryzujące aparaturę

Objętość zbiorniczka	$n$	20
Liczba stopni	$t_p$ [s]	19,6
Objętość rurki łączącej	$V$ [cm <sup>3</sup> ]	4,72
Objętość jednego stopnia	$V_z$ [cm <sup>3</sup> ]	43,9
Okres pompowania	$V_r$ [cm <sup>3</sup> ]	~ 3—30
Objętość gazu po jednej stronie tłoka pompki	$V'$ [cm <sup>3</sup> ]	22,8

przez zjawisko termodyfuzji w gazie zawartym między gorącym (lub zimnym) końcem rur separatora i poruszającym się tłokiem pompki gazowej znajdującej się w temperaturze pokojowej. Do utrzymywania stałej różnicy temperatur obu końców wszystkich stopni separatora stosowano dwa zamknięte obiegi wodne sterowane ultra-termostatami, co pozwalało na utrzymywanie stałej temperatury z dokładnością do ok. 0,2°C. W trzecim stopniu separatora umieszczono dwie termopary, dzięki którym można było kontrolować temperaturę gazu podczas pracy aparatury. Zaobserwowano, że podczas wahań *push-pull* gazu różnica między temperaturą gazu wewnątrz zbiorników a temperaturą zewnętrznego ośrodka (podgrzewającego



Ryc. 2. Zależność rozdzielania od okresu pompowania *push-pull* gazu

Tab. 2. Zależność rozdzielania od okresu pompowania *push-pull* gazu (dane do wykresów na ryc. 2)

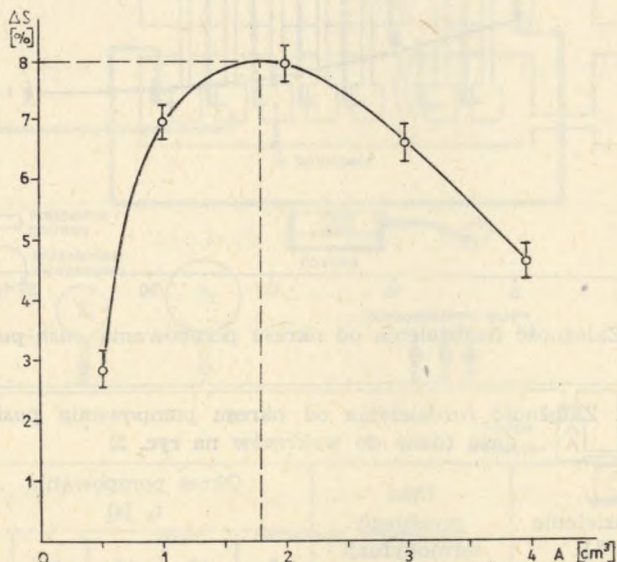
Rozdzielenie [%]	Czas przebiegu termodyfuzji $t$ [h]	Okres pompowania $t_p$ [s]				
		5	10	15	20	25
$\Delta S$	5	8,7	7,8	6,6	6,1	6,05
	10	11,1	11,0	11,0	10,2	10,0
	24	12,7	12,5	12,5	12,6	12,5

lub oziębiającego zbiorniki) nie przekraczała  $0,5^{\circ}\text{C}$ , a więc efekt zmian temperatury spowodowany pompowaniem gazu [4] w tym przypadku był do pominięcia.

Badano zależność rozdzielania od okresu pompowania *push-pull* gazu w granicach 5—25 s dla trzech różnych czasów trwania przebiegu termodyfuzyjnego. Uzyskane wyniki przedstawia ryc. 2, a dane liczbowe umieszczone są w tab. 2. Jak widać, rozdzielanie w przypadku prowadzenia procesu termodyfuzji przez 24 godz. nie zależy od okresu pompowania (w badanym przedziale czasu). Dla mniejszych czasów trwania termodyfuzji zależność od okresu pompowania *push-pull* gazu staje się widoczna, a

zmniejszenie się rozdzielania wraz ze wzrostem okresu związane jest ze zmianą czasu relaksacji.

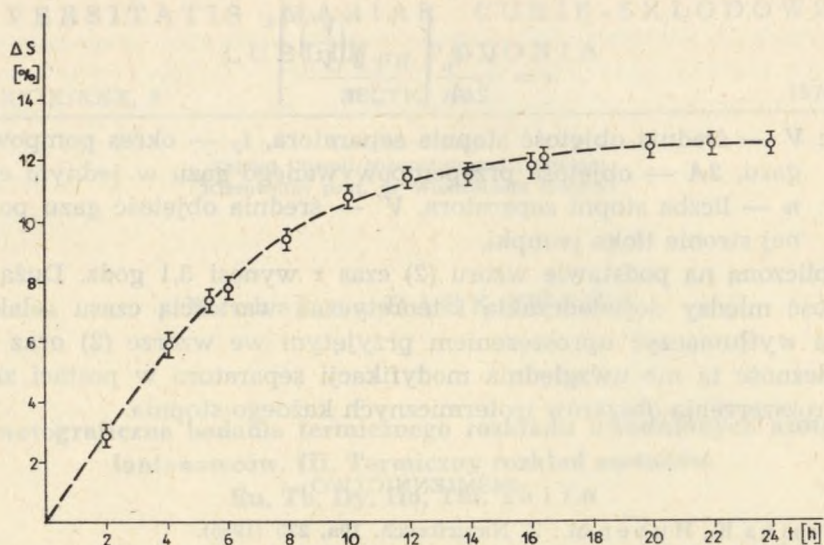
Badając zależność rozdzielania od amplitudy przepompowywanego gazu przeprowadzono pomiary dla 5-godzinnego czasu trwania procesu termodyfuzji (ryc. 3). Jak widać, rozdzielanie osiąga maksimum dla  $A \cong 2 \text{ cm}^3$ .



Ryc. 3. Zależność rozdzielania od amplitudy przepompowywanego gazu

Dla większych wartości  $A$  zmniejszenie rozdzielania jest prawdopodobnie wynikiem szkodliwego mieszania gazu w całej kolumnie w każdym stopniu separatora [2]. Natomiast zmniejszenie się rozdzielania dla  $A$  mniejszych od około  $1,5 \text{ cm}^3$  jest w tym przypadku wynikiem wzrostu czasu relaksacji. Po ustaleniu warunków optymalnych pracy separatora, które odpowiadają wartościom  $t_p \sim 10 \text{ s}$  i  $A \sim 1,8 \text{ cm}^3$  przeprowadzono badania czasu relaksacji  $\tau$ . Określenie  $\tau$  jest istotne w każdym przebiegu termodyfuzyjnym, gdyż pozwala sądzić o czasie trwania termodyfuzji aż do praktycznego ustalenia się równowagi. Praktycznie wystarczy wziąć 4 do 5  $\tau$ , wówczas rozdzielanie osiąga ok. 99% wartości dla stanu równowagi. Należy zwrócić uwagę, że w licznych pracach dotyczących termodyfuzji czas relaksacji dla separatora wahadłowego określany był tylko na drodze teoretycznej, natomiast brak jest w literaturze danych odnośnie doświadczalnych badań nad osiąganiem stanu równowagi.

Zależność rozdzielania od czasu trwania przebiegu termodyfuzji dla mieszaniny  $\text{H}_2\text{—CO}_2$  przy ciśnieniu 350 mm Hg przedstawiono na ryc. 4



Ryc. 4. Zależność rozdzielania od czasu trwania przebiegu termodyfuzji dla mieszaniny H<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub>

Tab. 3. Zależność rozdzielania od czasu trwania przebiegu termodyfuzji dla mieszaniny H<sub>2</sub>—CO<sub>2</sub> (dane do wykresu przedstawionego na ryc. 4)

Czas przebiegu termodyfuzji t [h]	2	4	5,5	6	8	10	12	14	16	20	21,5	22
Rozdzielenie ΔS [%]	2,9	5,95	7,3	7,8	9,4	10,8	11,4	11,5	11,8	12,4	12,5	12,5

i w tab. 3. Przyjmując, że osiągnięcie stanu równowagi przebiega zgodnie z zależnością:

$$\Delta c(t) = \Delta c_0 (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

gdzie  $\Delta c(t)$  jest rozdzielaniem po czasie  $t$ , a  $\Delta c_0$  rozdzielaniem po osiągnięciu stanu równowagi, możliwe jest na podstawie doświadczalnie znalezionej zależności  $\Delta c(t)$  określenie czasu relaksacji  $\tau$ . Dla przebiegu przedstawionego na ryc. 4  $\tau = 5,7$  h.

Określony na drodze teoretycznej czas relaksacji dla separatora wahadłowego (z uproszczeniem przyjętym w pracy [3]) wyraża się wzorem:

$$\tau = \frac{V \cdot t_p}{2A} \left[ \frac{n+2 \left( \frac{V'}{V} \right)}{\pi} \right]^2 \quad (2)$$

gdzie:  $V$  — średnia objętość stopnia separatora,  $t_p$  — okres pompowania gazu,  $2A$  — objętość przepompowywanego gazu w jednym cyklu,  $n$  — liczba stopni separatora,  $V'$  — średnia objętość gazu po jednej stronie tłoka pompki.

Obliczoną na podstawie wzoru (2) czas  $\tau$  wynosi 3,1 godz. Dużą rozbieżność między doświadczalną i teoretyczną wartością czasu relaksacji można wytłumaczyć uproszczeniem przyjętym we wzorze (2) oraz tym, że zależność ta nie uwzględnia modyfikacji separatora w postaci znacznego rozszerzenia obszarów izotermicznych każdego stopnia.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Clusius K., Huber M.: Z. Naturforsch. **10a**, 230 (1955).
2. Moran T. J., Watson W. W.: Phys. Rev. **109**, 1184 (1958).\*
3. Batabyal A. K., Ghosh A. K., Barua A. K.: J. Chem. Phys. **47**, 448, (1967).
4. Saxena S. C., Joshi R. K.: J. Chem. Phys. **37**, 1160 (1962).
5. Van der Waerden B. L.: Z. Naturforsch. **12a**, 583 (1957).
6. Joshi R. K., Saxena S. C.: J. Sci. Ind. Res. **24**, 21 (1965).

#### РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты исследований оптимальных условий работы и времени релаксации для модифицированного „качающего” разделителя. Время релаксации для смеси  $H_2$ — $CO_2$  5,7 часа, тогда как вычисленное значение из теории равно 3,1 часа. Эту разницу можно объяснить тем, что теория не учитывает модифицирования разделителя состоящего в поширении изотермических областей газа в каждой степени сепаратора.

#### SUMMARY

The optimal operation conditions and relaxation time for the modified swing separator was studied. The experiments showed that the relaxation time for the  $H_2$ — $CO_2$  mixture is about 5,7 h, while the theoretical value is 3,1 h. This discrepancy can be explained by the fact that the theoretical expression does not take into consideration a significant increase in the gas isothermal space in the modified swing separator.