ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 46 AUTOMATYKA z.1 1961

EDMUND ROMER, JANUSZ PIOTROWSKI

Zakład Miernictwa Wielkości Nieelektrycznych

WYMIANA GAZU DROGĄ TERMICZNEGO UNOSZENIA W ZASTOSOWANIU DO ANALIZATORA O_2

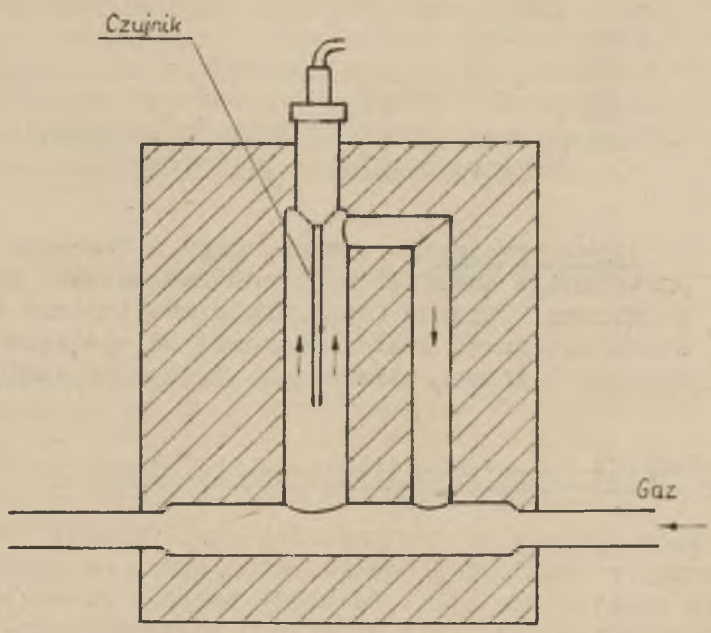
Streszczenie: Do wymiany gazu w komorach termomagnetycznego analizatora tlenu zastosowano konwekcję termiczną. Opisano konstrukcję analizatora i przedstawiono zależność stałej czasowej od wymiarów konstrukcyjnych i innych parametrów. Podano osiągnięte wyniki.

1. Wymiany gazu w analizatorach termicznych

Sposób wymiany gazu w komorach analizatorów działających na zasadzie termicznej posiada duży wpływ na szybkość odpowiedzi analizatora jak i na błędy wskazań powstające często wskutek zmiany natężenia przepływu badanego gazu. Odnosi się to szczególniej do analizatorów działających na zasadzie termokonduktometrycznej jak i termomagnetycznej, które z natury rzeczy są bardzo wrażliwe na ruch gazu w komorach pomiarowych. W analizatorach tego typu stosuje się wymianę gazu przez bezpośredni przepływ przez komorę - co pozwala uzyskać szybką odpowiedź, kosztem dużego wpływu zmian natężenia przepływu na wskazania lub wymianę drogą dyfuzji- powolną, lecz uniezależniająca wskazania od przepływu gazu. W końcu przy analizatorach termokonduktometrycznych zastosowano wymianę drogą termicznej konwekcji. Schemat analizatora z taką wymianą przedstawiony jest na rys.1.

Termokonwekcyjna wymiana przy odpowiedniej konstrukcji w szerokich granicach uniezależnia wskazania od natężenia przepływu badanego gazu, a równocześnie zapewnia bardzo szybką odpowiedź. Jeden z analizatorów termokonduktometrycznych[1] z konwekcyjną wymianą gazu posiada stałą czasową samej komory analizatora $\tau = 3$ sek. Jest to bardzo znaczne osiągnięcie wobec stałej czasowej starszych typów analiza-

torów termokonduktometrycznych, wynoszącej 60 sek do 120 sek.

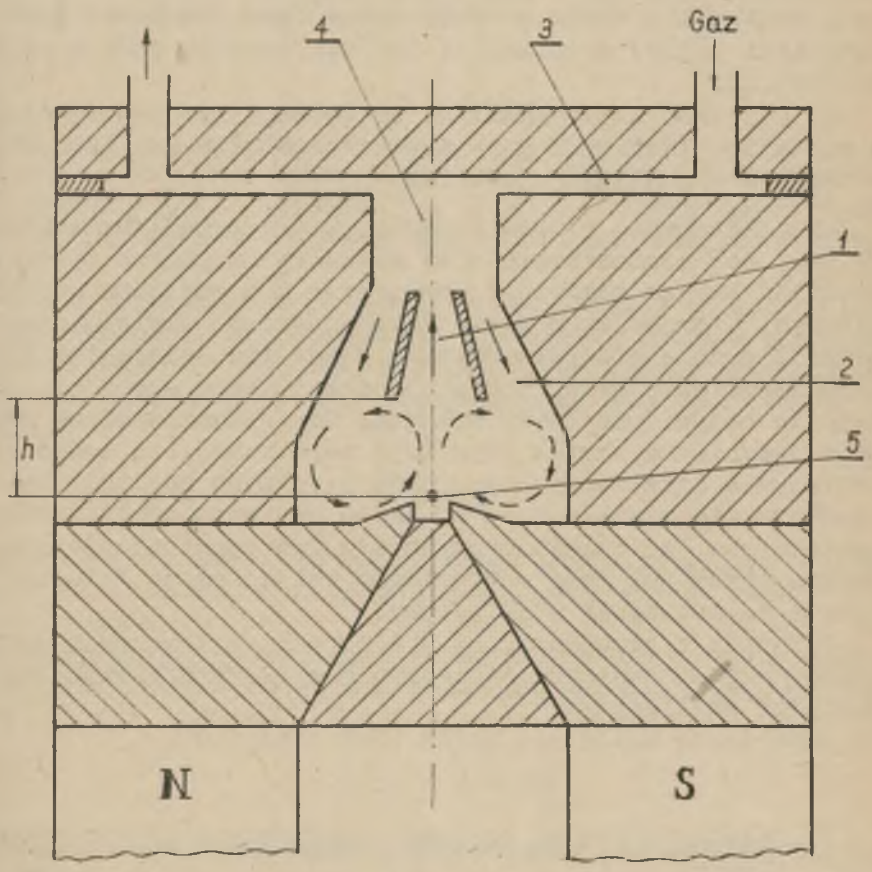


Rys.1. Blok termokonduktometrycznego analizatora z termokonwekcyjną wymianą gazu

2. Koncepcja wymiany gazu drogą termokonwekcji w analizatorach magnetycznych

Przy analizatorach termomagnetycznych wymiana gazu drogą konwekcji termicznej nie była dotychczas stosowana, a szybkość odpowiedzi stosunkowo powolna.

Koncepcję konstrukcji termomagnetycznego analizatora [2] z zastosowaniem wymiany gazu przez unoszenie cieplne, wyjaśnia rys.2. Przedstawia on przekrój poprzeczny przez komorę pomiarową analizatora. Komora porównawcza (kompensacyjna) jest ukształtowana analogicznie - z wyjątkiem zastąpienia nabiegunników z żelaza-mosiądzem.



Rys.2. Termomagnetyczny analizator tlenu. Zasada termokonwekcyjnej wymiany gazu ------► krążenie gazu w komorze
——— wymiana gazu

Koncepcję tę oparto na następujących przesłankach;

a) Połączenie szczelin, przez które gaz dopływa do komory analizatora (1-rys.2) lub odpływa z niej (2-rys.2) z przewodem gazu analizowanego muszą się znajdować w punktach o równym ciśnieniu. Uzyskano to, przez ukształtowanie przewodu gazowego w postaci wąskiej szczeliny (3-rys-2), rozszerzonej w miejscu połączenia szczelin 1 i 2 (rys.2) w stosunkowo szeroki kanał (4-rys.2) oraz przez możliwie daleko idące zbliżenia wylotów szczelin do siebie.

b) Dopływy do komory jak i odpływ z niej, muszą mieć taki kierunek, aby nie zaburzały normalnego krążenia w komorze, szczególniej w pobliżu grzejnika. Strzałki zaznaczające krążenie w komorze (kreskowane) jak i wymianę gazu (strzałki pełne) unaoczniają jak ten warunek jest spełniony (rys.2).

c) Objętość komór analizatora powinna być jak najmniejsza, a szczeliny łączące komory z przewodem gazu analizowanego - krótkie i możliwie szerokie.

Ukształtowanie szczeliny przez którą przepływa analizowany gaz, jej rozszerzenie oraz szczelin łączących z komorami musi być bardzo starannie opracowane pod względem aerodynamicznym. W przeciwnym razie łatwo powstają zawirowania, które powodują przepływ gazu do komór pod działaniem głównego strumienia gazu, posiadającego zmienną szybkość. Powoduje to oczywiście błędy wskazań. Gdy jednak wymiana następuje jedynie na skutek konwekcji termicznej, to wobec dostatecznie niezmiennych warunków cieplnych analizatora, uzyskuje się niezależność od przepływu gazu analizowanego. Stwierdzono, że zależnie od szczegółów konstrukcyjnych, zmiana szybkości gazu w granicach od 1:3 aż do 1:10 nie wpływa na wskazania analizatora.

Ostatnia z przesłanek (C.) w sposób empiryczny i ogólnikowy określa warunki konieczne dla uzyskania szybkiej odpowiedzi analizatora.
To empiryczne zalecenie można ująć ilościowo.

3. Zależność stałej czasowej analizatora od konstrukcji komory

Jeśli wymiana gazu między komorą analizatora a przewodem gazowym następuje drogą przepływu, a w komorze zachodzi energiczny ruch gazu, zapewniający mieszanie, to komora taka zachowuje się z dostatecznym przybliżeniem jak obiekt o inercji pierwszego rzędu. Funkcja przejścia jest w takim przypadku zbliżona do krzywej wykładniczej, możemy zatem mówić o stałej czasowej.

W analizatorze o konstrukcji komory przedstawionej na rys.2. wymiana następuje drogą przepływu wymuszonego przez konwekcję termiczną. Krążenie termiczne i magnetyczne zapewnia intensywne mieszanie gazu w komorze. Podane warunki są zatem spełnione. Potwierdza to również eksperymentalna krzywa przebiegu napięcia proporcjonalnego do zawartości

tlenu w komorze, zdjęta przy pomocy automatycznego kompensatora, przy skokowym przejściu z czystego azotu, na mieszaninę azotu z tlenem (rys.5).

Stałą czasową komory analizatora określa zależność

$$\tau = \frac{v}{V} \text{ (sek)}$$

gdzie v - objętość komory (cm^3) a V - objętościowe natężenie wymiany gazu ($cm^3 . sek^{-1}$). Objętość komory łatwo wyznaczyć z jej wymiarów - pozostaje obliczenie natężenia przepływu [3].

Ponad grzejnikiem (5-rys.2) powstaje słup ogrzanego gazu, przyspieszonego siłą unoszenia wytworzoną różnicą gęstości gazu otoczenia i ogrzanej strugi. W ten sposób powstaje dynamiczna różnica ciśnień, odpowiadająca liczbowo różnicy ciśnień

$$P = h . \Delta\gamma$$

gdzie: h - wysokość ogrzanego słupa powietrza, $\Delta\gamma$ - różnica ciężarów właściwych gazu otaczającego ciepłą strugę i gazu w strudze.

Powstała przez unoszenie różnica ciśnień pokrywa spadki ciśnienia obiegu gazu przez szczeliny łączące komorę z kanałem gazowym (4-rys.2). Można ogólnie napisać:

$$P = h . \Delta\gamma = V . Rh$$

gdzie Rh - opór przepływu wzdłuż drogi wymiany gazu między komorą a kanałem gazowym. Taki wzór jest słuszny dla wąskich szczelin i laminarnego przepływu, co w danym przypadku zachodzi z dostatecznym przybliżeniem.

Zatem

$$V = \frac{h . \Delta\gamma}{Rh}$$

Należy zauważyć, że pominięto tu opory krążenia w samej komorze i w kanale 4 (rys.2), jako znikomo małe w porównaniu z resztą oporów. Pominięto też pracę zużytą na przyspieszenie gazu - również znikomą, wobec stosunkowo małych prędkości ruchu gazu.

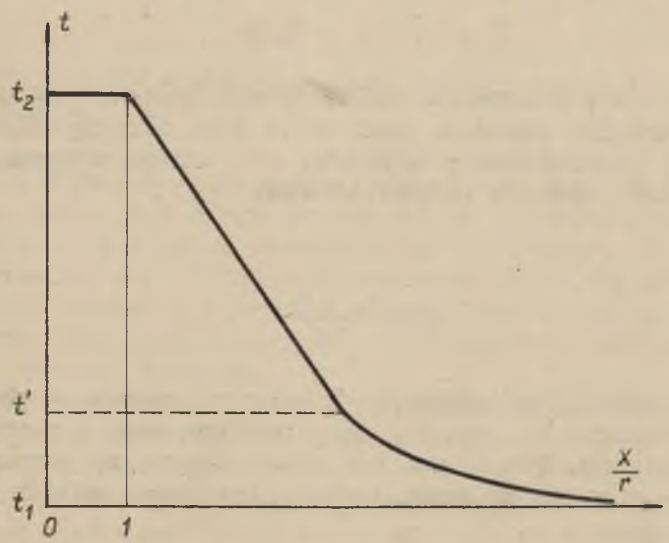
Poważne trudności przedstawia ocena różnicy temperatur gazu w unoszonej strudze i jej otoczeniu. Rozkład temperatury [4] na wysokości grzejnika przedstawia rys.3 - odnoszący się do cylindra poziomego, umieszczonego w nieograniczonej przestrzeni. Odciętą podano jako stosunek $\frac{x}{r}$, gdzie r-promień grzejnika, x - odległość od osi grzejnika. Na powierzrzchni grzejnika temperatury gazu i grzejnika są sobie równe (t_2). Temperatura w punkcie załamania krzywej spada do wartości $t' = t_1 + (0,12 \div 0,15)(t_2 - t_1)$, przy czym punkt ten jest pewnego rodzaju punktem nieciągłości, wyraźnie ograniczający unoszoną strugę.

Ścisłe prześledzenie przebiegu i rozkładu temperatury unoszonego słupa powyżej grzejnika jest niemożliwe, bez bardzo żmudnych pomiarów i badań. Przyjęto więc następujące założenia przybliżone:

jako średnią temperaturę całego słupa aż do wejścia do szczeliny 1 (rys.2) przyjęto równą

$$t_{sr} = \frac{t_2 + t_1}{2}$$

następnie przyjęto, że w szczelinie 1 temperatura gazu osiąga temperaturę otoczenia (tj. t_1), zatem do obliczenia ciśnienia p należy przyjąć słup rozgrzanego gazu o wysokości h



Rys.3. Rozkład temperatury gazu na wysokości grzejnika

(rys.2): w końcu, jako temperaturę gazu otaczającego przyjęto temperaturę komory = t_1.

Należy ocenić, w jakim stopniu przyjęte założenia odpowiadają rzeczywistości. Rozkład temperatur przedstawiony na rys.3, odnosi się do cylindra w położeniu poziomym, umieszczonego w nieograniczonej (praktycznie) przestrzeni. W rzeczywistości komora pomiarowa, w której znajduje się grzejnik, posiada wymiary rzędu 20÷30 r, podczas gdy znaczące zaburzenie krążenia, wywołane obecnością rozgrzanego cylindra sięga do ok. 40 r.

Obecność komory zaburza więc naturalne krążenie, jest czynnikiem ujemnym, nie uwzględnionym w rachunku. Natomiast założenie, że temperatura gazu u wlotu do szczeliny 1 spada do t_1 jest zbyt pesymistyczne. Obydwa wymienione czynniki wprowadzają w rachunek niepewności o przeciwnych znakach. Dla temperatury t_{sr} jest na pewno spełniona nierówność:

$$t_1 < t_{śr} < t_2$$

Dla realnych warunków ($t_2 = 150^oC$; $t_1 = 40^oC$)

$t' = 0,15\ (t_2 - t1) + t_1 = 66,5^oC$ niepewność leży więc w bardzo szerokich granicach. Rzeczywista średnia temperatura będzie w dużym stopniu zależała od szerokości strugi biorącej udział w wymianie tj. od szerokości szczeliny 1 (rys.2).

Można jednak z dużym stopniem przybliżenia przyjąć, że efektywna średnia temperatura (tj. miarodajna dla powstającej przez unoszenie różnicy ciśnień) t_{ef} będzie proporcjonalna do $t_{śr}$.

Ciężar właściwy gazu o temperaturze t określa na podstawie prawa gazowego wzór:

$$\gamma_t = \gamma_o \frac{T_o}{T},$$

stąd różnica ciśnień powstająca wskutek unoszenia wzdłuż drogi h (rys.2):

$$p_u = h(\gamma_o - \gamma_t) = h\,\gamma_o T_o\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s}\right)$$

Spadek ciśnienia w długiej a wąskiej szczelinie wynosi zgodnie z prawem Poissona

$$P = \frac{12\,\eta\,.z}{S^3.L}\,V$$

Ponieważ $p = p_u$, możemy napisać:

$$h\,\gamma_o.T_o\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3}\right) = \frac{12\eta}{L}\,.\,V\left(\frac{Z_1}{S_1^3} + \frac{1}{2}\frac{Z^2}{S_2^3}\right),$$

stąd wymiana gazu na jednostkę czasu:

$$V = h.\,\gamma_o T_o\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3}\right)\,.\,\frac{L}{12\eta}\;\frac{1}{\frac{Z_1}{S_1^3} + \frac{1}{2}\frac{Z_2}{S_2^3}}$$

lub ostatecznie stała czasowa:

$$\tau = \frac{v}{V} = v\,\frac{12\eta\,.T_1.T_s}{h.\,\gamma_o L.T_o(T_s - T_1)}\left(\frac{Z_1}{S_1^3} + \frac{1}{2}\frac{Z_2}{S_2^3}\right.$$

Oznaczają tu:

T_o, T_1, T_s temperatury bezwzględne zera, komory i średnia gazu

γ_o - ciężar właściwy gazu przy $t_o = 0^oC$.

η - lepkość dynamiczna gazu

L - długość szczeliny

S_1, S_2 - szerokość szczelin 1 i 2 (rys.2)

Z_1; Z_2 - długość drogi gazu w szczelinach 1 i 2.

v - objętość komory.

Stała czasowa jest zależna zarówno od temperatury średniej gazu T_s jak i od temperatury komory T_1. Ponieważ tem-

peratura T_1 jest przy analizatorach termomagnetycznych stabilizowana, zmienna jest tylko T_s, a zależność przedstawia wzór

$$\tau'_T = \tau_T \frac{T'_s}{T_s} \cdot \frac{T_s - T}{T'_s - T_1}$$

Stała czasowa jest również zależna od natężenia przepływu gazu. Przyczyną tego jest istnienie kanału 4 (rys.2), w którym następuje wymiana gazu drogą bezpośredniego przepływu. Zatem można by przypuszczać że mamy do czynienia z układem inercyjnym drugiego rzędu, a nie pierwszego, jak pierwotnie założono. Jednak takie przyjęcie - znacznie odbiega od rzeczywistości. Funkcja przejścia ma charakter zbliżony do funkcji wykładniczej. Można to wyjaśnić tym, że struga gazu przepływająca przez szczelinę 3 (rys.2) nie miesza się dostatecznie intensywnie z zawartością komory 4.

WYNIKI I WNIOSKI

Wyniki pomiarów stałej czasowej, przeprowadzone na dwóch modelach wykonanych w Zakładzie Miernictwa Wielkości Nieelektrycznych przedstawiono na rys.4. Na tej samej rycinie podano również przebieg stałej czasowej analizatora Magnos V firmy H & B. oraz podano katalogowe dane analizatora f.SIEMENS.

Miarą zgodności pomiarów z teorią jest stosunek stałej czasowej zmierzonej do obliczonej.

Wynosi on: dla analizatora KTM-6: 2,0
dla analizatora KTM-7: 1,3

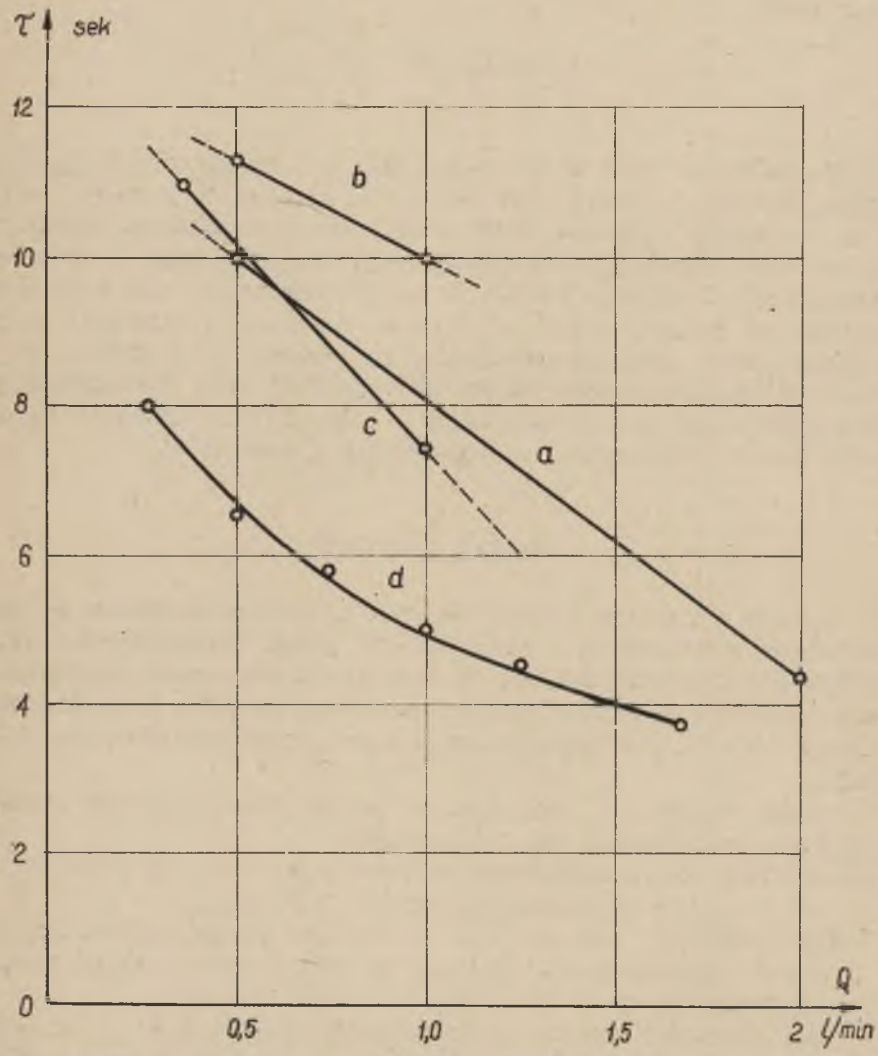
Podane wartości odnoszą się do natężenia przepływu 1,5 l/min.

Rys.5. przedstawia wycinek taśmy rejestracyjnej obrazującej przebieg ustalania się wskazań.

Dla zbadania wpływu temperatury grzejnika (t_2) na stałą czasową, przeprowadzono pomiar dla $t_2 = 170^\circ C$ i $t_2 = 270^\circ C$ przy nie zmienionych innych parametrach.

Otrzymany wynik pomiarów (τ_{170}: τ_{270} = 1,34) jest dobrze zgodny z obliczonym (τ_{170}: τ_{270} = 1,41).

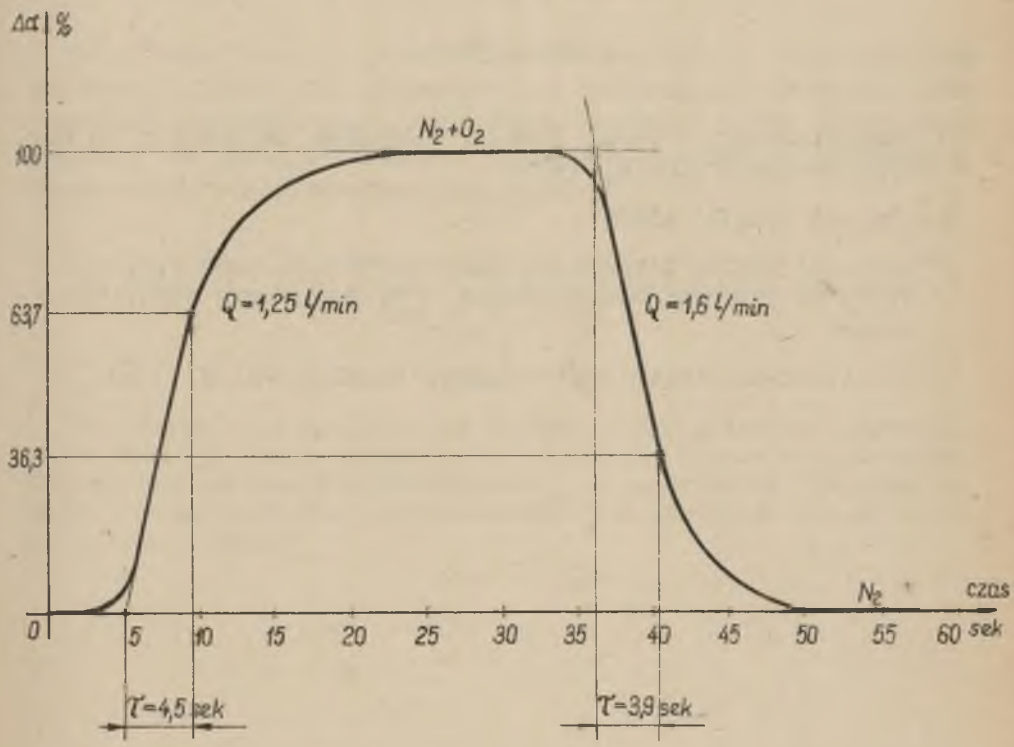
Stwierdzono również, że zmiana natężenia przepływu w stosunku 1:4 powoduje zmiany wskazań poniżej 1% zakresu pomiarowego analizatora.



Rys.4. Stała czasowa jako funkcja natężenia przepływu gazu a) Analizator Siemensa (dane katalogowe) b) Analizator Magnos V H&B; c) Prototyp KTM-6; d) Prototyp KTM-7

Przeprowadzone pomiary i teoretyczne rozważania wykazują, że zastosowanie wymiany gazu na drodze konwekcji termicznej pozwala na znaczne skrócenie stałej czasowej magnetycznych

analizatorów tlenu przy równoczesnej niezależności w szerokich granicach od zmian natężenia przepływu.



Rys.5. Przebieg czasowy ustalania się wskazań analizatora KTM-7

LITERATURA

[1] Hengstenberg, Sturm, Winkler - Messen und Regeln in der Chemischen Technik, 1957.

[2] Patent PRL Nr 43855

[3] Automatyzacja tiepłowych elektrostancji Gosenergizdat. 1959 r. Artykuł W.D.Miranowa, pt. Magnytnyj Kistorodomier.

[4] Senftleben, Zeitschrift f.ang. Physik, vol.3. 1951.

Обмен газа путем термической конвекции в применении к анализаторе O_2

Содержание

К обмена газа в коморах термомагнитного анализатора кислорода применено термическую конвекцию. Описано конструкцию анализатора и представлено зависимость постоянной времени от конструктивных размеров и инных параметров. Представлено достигнитые результаты.

Exchange of Gas by means of Thermal Convection in Magneting Gas — Analysers

Summary

The design of a magnetic gas-analyser applying thermal convection as the means of the gas exchange in the analyser-chambers is described. The relations between the time constant of the analyser and the principal design-elements and some other parameters are computed. The developed results are discussed.