



URZĄD
PATENTOWY
PRL

Patent dodatkowy
do patentu nr _____

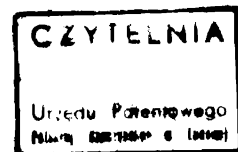
Zgłoszono: 84 08 31 (P. 249421)

Pierwszeństwo _____

Zgłoszenie ogłoszono: 86 03 11

Opis patentowy opublikowano: 89 05 31

Int. Cl.⁴ E21B 43/28



Twórcy wynalazku: Andrzej Kaliszak, Marek Żaliński

Uprawniony z patentu: Politechnika Warszawska,
Warszawa (Polska)

Sposób eksploatacji złoża siarkowego

Przedmiotem wynalazku jest sposób eksploatacji złoża siarkowego metodą otworową.

W technologii otworowej eksploatacji złóż siarki na wyprodukowanie 1 tony siarki zużywa się średnio około 12 m³ wody o temperaturze 160°C. Gorąca woda podawana do złoża jest stopniowo odbierana za pomocą barier depresyjnego odprężania zlokalizowanych w odległości 0,3–3 km od frontu eksploatacyjnego jako woda zimna, wysoce zmineralizowana (3–10 kg soli/m³) i zasiarczona (150–300 g H₂S/m³). Wodę tę łączy się z wodami erupcyjnymi i z opadów atmosferycznych, oczyszcza od związków siarki dwuujemnej przez ich rozkład za pomocą kwasu siarkowego i desorpcję wytworzonego siarkowodoru za pomocą powietrza.

Znany jest także sposób prowadzenia eksploatacji z częściowo zamkniętym obiegiem wody, w którym wodę złożową zmiękcza się znanymi metodami i alkalizuje osłabiając korozyjne działanie związków siarki dwuujemnej, po czym ogrzewa bezprzeponowo w strumieniach parowych. Przy opisanym powyżej sposobie postępowania nie odzyskuje się ciepła zawartego w wodzie złożowej opuszczającej strefę złoża eksploatowanego, a do uzdatnienia wody niezbędna jest duża aparatura naziemna oraz duża ilość kosztownych środków chemicznych.

W opisie patentowym nr 111 818 przedstawiony jest proces, w którym wodę odbieraną ze złoża wtłacza się rurą osłonową otworu, równolegle z wodą technologiczną do złoża bez jej uzdatniania i wstępnego podgrzewania. Sposób ten jednak nie znalazł praktycznego zastosowania, ponieważ przy równoległym zasilaniu złoża wodą złożową i technologiczną, woda złożowa ogrzewa się w otworze praktycznie do temperatury wody technologicznej na wejściu do złoża, co powoduje silną korozję rurociągów spowodowaną nie usuniętymi siarczkami i siarkowodorem oraz wytrącanie się osadów związków wapnia i magnezu zawartych w tych wodach.

Sposób według wynalazku polega na tym, że w pierwszej fazie eksploatacji zakończonej wprowadzeniem do złoża elementu wody donoszącego ciepło do końca bilansowej strefy wytopu, podaje się wodę o najwyższej dopuszczalnej temperaturze. Następnie temperaturę wody obniża się skokowo określając czas i skalę wielkości skoku zmiany temperatury z równania zawierającego współczynniki wyznaczone na podstawie obliczonej w funkcji zmian powierzchni wytopu siarki wokół otworu i temperatury wody wchodzącej do złoża w pierwszej fazie eksploatacji aż do

osiągnięcia temperatury około 130°C, po czym utrzymuje się temperaturę wody niezmienną w czasie ewentualnie zmniejszając natężenie tej wody aż do sczerpania całkowitej ilości siarki wytopionej wokół danego otworu. Wodę odbieraną ze złoża o temperaturze nie niższej od 70°C uzdatnia się przez utlenienie jonów siarki dwuujemnej wprowadzając do dna otworu odprężające powietrze zawierające 0,8–1,3-krotną ilość tlenu w stosunku do ilości stechiometrycznej niezbędnej do utleniania związków siarki dwuujemnej do tiosiarczanów i siarczynów i miesza z wodą gorącą i/lub parą grzejną i wodą z erupcji w takim stosunku, aby po zmieszaniu woda miała temperaturę optymalną dla danego okresu eksploatacji i jej twardość była mniejsza od twardości stanu nasycenia w temperaturze zmieszania, po czym wodę tę włącza się do otworów.

W czasie przepływu wody złożowej z barbotującymi w niej pęcherzykami powietrza, dzięki utrzymywaniu temperatury wyższej od 70°C zachodzi proces utlenienia jonów siarki dwuujemnej do tiosiarczanów i siarczanów, a więc związków dobrze rozpuszczalnych i mało korozyjnych w odróżnieniu od siarki, która byłaby produktem utleniania w temperaturach niższych. Stężenie siarczków na skutek utleniania w otworze odprężającym obniża się od około 300 do około 20 g H₂S/m³, a więc odsiarczanie jest skuteczniejsze niż uzyskiwane za pomocą metod naziemnych. Ponadto do wody wprowadza się jedynie niewielkie ilości powietrza — środka taniego i o małej pojemności cieplnej, a więc powodującego tylko nieznaczne obniżenie temperatury oczyszczanej wody. Proces odsiarczania nie wymaga stosowania dużej, naziemnej stacjonarnej aparatury i przemieszcza się w miarę potrzeby wraz z rozwojem frontu eksploatacyjnego. Wodę uzdatnioną sposobem według wynalazku można wykorzystywać do ponownego wygrzewania złoża. Źródłem wody jest również woda z wypływów erupcyjnych zwykle gorąca i mało zmineralizowana.

Wody te miesza się i podgrzewa do wymaganej temperatury metodami bezprzeponowymi za pomocą wody gorącej lub pary grzejącej. Stosunki w jakich miesza się te dwa rodzaje wód odpadowych i czynnik grzejny dobiera się tak, aby twardość wody po zmieszaniu była niższa od twardości, przy której w temperaturze zmieszania następuje wytrącanie się osadów. W ten sposób wykorzystuje się ciepło zawarte w wodach odpadowych do ponownego wygrzewania złoża.

Zużycie ciepła można także znacznie zmniejszyć przez optymalne zasilanie wodą otworu eksploatacyjnego.

W dotychczasowej praktyce do naziemnej części otworu eksploatacyjnego dostarcza się wodę o temperaturze około 160°C nie kontrolując dalej temperatury wody. Natężenie wody dobiera się tak, że stosunek objętościowego natężenia wody do miąższości złoża utrzymuje się w zakresie $V : H = 0,5 - 1,5 \text{ m}^2/\text{h}$. Natężenie wody utrzymuje się niezmiennie przez okres czasu niezbędny do wydobywania siarki w ilości przypisanej do wydobywania z danego otworu. Następnie, w tak zwanej końcowej fazie eksploatacji natężenie podawanej wody obniża się 0,1–0,3 wartości znamionowej, bez zmiany temperatury wody podawanej do otworu.

Poszczególne otwory powinny być zasilane wodą ze stałym w czasie natężeniem, korzystnie maksymalnym, ograniczonym chłonnością złoża. Przy ustalonych natężeniach podawanej wody utrzymuje się w złożu wielootworowym niezmiennie w czasie pole ciśnień. Optymalne strumienie ciepła dostarcza się do stref złoża przypisanych do poszczególnych otworów zależnie do fazy eksploatacji przez zmianę temperatury podawanej wody. W pierwszej fazie eksploatacji do złoża podaje się wodę o temperaturze maksymalnej dopuszczalnej, to jest około 160°C przy głowicy otworu. Okres pierwszej fazy eksploatacji kończy się z chwilą wprowadzenia do złoża elementu donoszącego ciepło do końca bilansowej strefy wytopu. Czas ten oznaczony jako t_0 oblicza się ze wzoru:

$$t_0 = a_n / \frac{\rho_n \cdot c_n \cdot S}{\pi V_w \rho - w c_w A} /^2$$

w którym a_n oznacza dyfuzyjność cieplną nadkładu i warstw spągowych złoża (m²/s), ρ_w — gęstość wody grzewczej (kg/m³), ρ_n — gęstość nadkładu (kg/m³), c_w — ciepło właściwe wody grzewczej (kJ/kg · K), c_n — ciepło właściwe nadkładu (kJ/kg · K), V_w — natężenie przepływu wody grzewczej (m³/s), S — powierzchnia przewidywanej strefy wytopu (m²) i A — wartość spełniająca warunek:

$$\operatorname{erfc}\{A\} = T_f = \frac{T_s - T_0}{T_w - T_0}$$

gdzie T_o — temperatura początkowa złoża ($^{\circ}\text{C}$), T_{wo} — temperatura wody grzewczej w pierwszej fazie eksploatacji ($^{\circ}\text{C}$), T_s — temperatura topnienia siarki ($^{\circ}\text{C}$) i T_f — bezwymiarowa względna temperatura topnienia siarki.

Po czasie t_o następuje druga faza eksploatacji, w czasie której obniża się temperatury wody grzewczej przez mieszanie jej z chłodniejszą wodą ze złoża z ujęć poeksploatacyjnych oczyszczoną w podany wyżej sposób. Natężenie podawanej wody nie ulega zmianie, a jej temperatura zmienia się według równania:

$$T = T_f + (1 - T_f/e^{-\tau f k})$$

w którym T oznacza bezwymiarową temperaturę wody grzewczej i jest wyrażone zależnością:

$$T = \frac{T_w - T_o}{T_{wo} - T_o}$$

gdzie T_o oznacza temperaturę wody grzewczej ($^{\circ}\text{C}$), τ oznacza bezwymiarowy czas mierzony od początku drugiej fazy eksploatacji i

$$\tau = 4 \cdot a_n \cdot t / \frac{\rho_n \cdot c_n}{\rho_{ew} \cdot c_{ew} \cdot H} /^2$$

gdzie t oznacza czas mierzony od początku drugiej fazy eksploatacji (s), ρ_{ew} — gęstość złoża nasyconego wodą (kg/m^3), c_{ew} — ciepło właściwe złoża nasyconego wodą ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$), H — wysokość złoża (m), f , k — współczynniki zależne od parametrów złoża i wody grzewczej.

Temperatura T przedstawiona jest na fig. 1 linią przerywaną. Jest ona kontynuacją linii przerywanej obrazującej stałą temperaturę wody grzewczej w pierwszej fazie eksploatacji.

Ze względów praktycznych, a także ze względów bezpieczeństwa (aby uniknąć ponownego zestalenia się siarki w otoczeniu otworu wskutek podania zbyt zimnej wody) temperatura wody grzewczej obniża się nie zgodnie z krzywą oznaczoną linią przerywaną na fig. 1, lecz w sposób skokowy oznaczony linią ciągłą schodkową. Skokowa zmiana temperatury wody grzewczej do poziomu wyznaczonego linią przerywaną zachodzi co określony czas, na przykład co 8 godzin, jeżeli w tym czasie różnica temperatur przekroczy określoną wartość na przykład 1°C lub też w każdej dowolnej chwili, gdy różnica temperatur między wartością zadaną a optymalną przekroczy inną określoną wartość, na przykład 5°C . W odpowiednim czasie zmienia się nastawę regulatora temperatury na wartość wynikającą z przeliczenia odpowiadającej tej chwili czasowej temperatury bezwymiarowej na wielkość wymiarową:

$$T_w = T / (T_{wo} - T_o) + T_o$$

Podane wyżej współczynniki f , k są związane z parametrami fizyko-chemicznymi i geologicznymi złoża i wody technologicznej, a dokładniej:

$$f = f/x_f, T_f/$$

$$k = k/x_f, T_f/$$

gdzie x_f jest bezwymiarowym czasem rozchodzenia się zakłóceń fazy cieplnej od otworu do obrzeża strefy wytopu (czas opóźnienia). Czas ten oblicza się ze wzoru:

$$x_f = \frac{4 \cdot a_n / \rho_n \cdot c_n /^2 S}{V_w H \rho_{ew} \cdot c_{ew} \rho_w \cdot c_w}$$

Również czas to pierwszej fazy eksploatacji w postaci bezwymiarowej τ_o związanej z t_o zależnością

$$t_o = \frac{\tau_o}{4a_n} \sqrt{\frac{\rho_w c_w H}{\rho_n c_n}} \quad /2$$

jest funkcją x_f i T_f . Zależności te ujęte są wspólnie na wykresie w postaci nomogramu siatkowego przedstawionego na fig. 2, który pozwala na natychmiastowe określenie parametrów charakteryzujących pierwszą fazę eksploatacji (τ_o) i drugą fazę eksploatacji (k , f). Krzywoliniowa siatka linii ciągłych na wykresie odpowiada wartościom x_f i T_f , linie przebiegające prawie pionowo w swej górnej części odpowiadają wartościom T_f . Para (x_f , T_f) wyznacza punkt na wykresie. Wartość τ_o odczytuje się z linii przerywanych na wykresie w dolnej ich części. Wartości k i f są współrzędnymi tego punktu odpowiednio na osi pionowej i poziomej układu współrzędnych.

Temperaturę wody grzewczej obniża się do momentu, w którym osiąga ona pewną wartość graniczną, na przykład 130°C , to znaczy jest o około 10°C wyższa od temperatury topnienia siarki. Od tej chwili rozpoczyna się trzeci etap eksploatacji, w którym do otworu podaje się wodę grzewczą o temperaturze około 130°C do końca okresu eksploatacji otworu.

Przykład wynalazku jest bliżej objaśniony w przykładzie wykonania.

Przykład. Do złoża o następujących parametrach fizyko-chemicznych:

$$\begin{aligned} \rho_w &= 100 \text{ kg/m}^3 \\ c_w &= 4,19 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ \rho_n &= 2260 \text{ kg/m}^3 \\ c_n &= 1,25 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ \rho_n &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\ c_n &= 0,022 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ a &= 1,357 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s} \\ k_s &= 1,0 \cdot 10^{-9} / \text{m}^3 \cdot \text{s/kg} \\ k_w &= 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{s/kg} \\ H &= 20 \text{ m} \\ S &= 1590 \text{ m}^2 \\ T_o &= 10^\circ\text{C} \end{aligned}$$

łoczy się w pierwszej fazie eksploatacji wodę grzewczą technologiczną o temperaturze na głowicy otworu $T_{wo} = 160^\circ\text{C}$ w ilości $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ($18 \text{ m}^3/\text{h}$). Z wzorów oblicza się wartości bezwymiarowych parametrów temperatury T_f i opóźnienie x_f . I tak $T_f = 0,703$, a $x_f = 0,0357$. Na nomogramie przedstawionym na fig. 2 odszukuje się w układzie współrzędnych krzywoliniowych (T_f , x_f) punkt odpowiadający podanym powyżej wartościom, a następnie odczytuje się wartość bezwymiarowego czasu τ_o trwania pierwszej fazy eksploatacji (z siatki linii przerywanych) oraz (na osiach współrzędnych prostokątnych) wartości współczynników k i f : $\tau_o = 4,4 \cdot 10^{-3}$, $k = 0,38$, $f = 4,53$. Ze wzoru oblicza się czas t_o trwania pierwszej fazy eksploatacji $t_o = 146,5 \text{ h}$.

Po upływie czasu t_o (druga faza eksploatacji) sprawdza się początkowo co 0,5 godziny wartość różnicy między temperaturą wody grzewczej a temperaturami obliczonymi ze wzorów. Jeżeli różnica ta przekracza 5°C obniża się temperaturę wody grzewczej do poziomu obliczonego, dodając do niej strumień oczyszczonej chłodniejszej wody odpadowej o temperaturze $T_2 = 50^\circ\text{C}$. Różnicę temperatur oblicza się także pod koniec każdej 8-godzinnej zmiany. Jeżeli przekroczy ona wartość 1°C , dokonuje się również obniżenia temperatury wody grzewczej. Jeżeli w ciągu kolejnej 8-godzinnej zmiany różnica ta nie przekroczy 5°C rezygnuje się z obliczenia jej co 0,5 godziny, nie zmieniając jedynie czynności dokonywanych pod koniec 8-godzinnej zmiany.

Po podjęciu decyzji o obniżeniu temperatury wody grzewczej, obniża się ją do wartości wynikającej ze wzoru nastawy regulatora temperatury wody grzewczej zmieniającego odpowiednio proporcje mieszania wody o temperaturze 158°C i 50°C przy zachowaniu stałego natężenia przepływu.

W tabeli przedstawiono przykład zasilania wodą otworu eksploatacyjnego. W pierwszej kolumnie podano czas liczony od początku eksploatacji, po którym nastąpiła zmiana temperatury, w drugiej i trzeciej kolumnie podano odpowiednio temperaturę dotychczasową wody grzewczej i jej temperaturę od tego momentu (nowa nastawa regulatora temperatury). W ostatniej kolumnie podano w procentach ilości zaoszczędzonej wody technologicznej o temperaturze 158°C, dzięki częściowemu zastąpieniu jej wodą o temperaturze 50°C. Tabela obejmuje okres około 1600 godzin eksploatacji otworu (druga faza eksploatacji). Po tym czasie osiąga się temperaturę wody grzewczej o około 10°C wyższą od temperatury topnienia siarki. Ze względów bezpieczeństwa nie należy od tej chwili obniżać temperatury wody grzewczej (trzecia faza eksploatacji).

T a b e l a

Czas H	T poprz.	T obecna	% oszcz.
160	158,2	155,5	0
168	155,5	153,9	0,295
176	153,9	152,6	0,671
184	152,6	151,6	1,07
200	151,6	150,0	1,49
216	150,0	148,8	2,30
232	148,8	147,7	3,09
256	147,7	146,4	3,84
280	146,4	145,3	4,89
312	145,3	144,1	5,85
344	144,1	143,1	6,99
384	143,1	142,0	8,03
432	142,0	140,9	9,17
488	140,9	139,7	10,3
552	139,7	138,7	11,5
624	138,7	137,6	12,7
712	137,6	136,5	13,9
808	136,5	135,5	15,1
920	135,5	134,5	16,3
1056	134,5	133,5	17,4
1216	133,5	132,4	18,5
1408	132,4	131,4	19,7
1672	131,4	130,4	20,9

Z a s t r z e ż e n i e p a t e n t o w e

Sposób eksploatacji złoża siarkowego metodą otworową, w którym do otworów podaje się wodę z niezmiennym w czasie natężeniem o zmiennej w czasie temperaturze dostosowanej do zasięgu strefy wytopionej siarki wokół otworu wydobywczego, przepływ wody w złożu steruje się za pomocą odprężania złoża, wodę z odprężania złoża odsiarcza się, a następnie dodając ewentualnie wodę z erupcji ogrzewa się ją bezprzeponowo do zadanej temperatury za pomocą wody gorącej lub pary wodnej, **znamienny tym**, że w pierwszej fazie eksploatacji zakończonej wprowadzeniem do złoża elementu wody donoszącego ciepło do końca bilansowej strefy wytopu, podaje się wodę o najwyższej dopuszczalnej temperaturze, następnie temperaturę wody obniża się skokowo określając czas i skalę wielkości skoku zmiany temperatury z równania zawierającego współczynniki wyznaczone na podstawie obliczonej w funkcji zmian powierzchni wytopu siarki wokół otworu i temperatury wody wchodzącej do złoża w pierwszej fazie eksploatacji aż do osiągnięcia temperatury około 130°C, po czym utrzymuje się temperaturę wody niezmienną w czasie ewentualnie zmniejszając natężenie tej wody aż do sczerpania całkowitej ilości siarki wytopionej wokół danego otworu, a wodę odbieraną ze złoża o temperaturze nie niższej od 70°C uzdatnia się przez utlenienie jonów siarki dwuujemnej wprowadzając do dna otworu odprężającego powietrze zawierające 0,8–1,3 krotną ilość tlenu w stosunku do ilości stechiometrycznie niezbędnej do utlenienia związków siarki dwuujemnej do tiosiarczanów i siarczynów i miesza się z wodą gorącą i/lub parą grzejącą i wodą z erupcji w takim stosunku, aby po zmieszaniu woda miała temperaturę optymalną dla danego okresu eksploatacji i jej twardość była mniejsza od twardości stanu nasycenia w temperaturze zmieszania, po czym wodę tę wtłacza się do otworu.

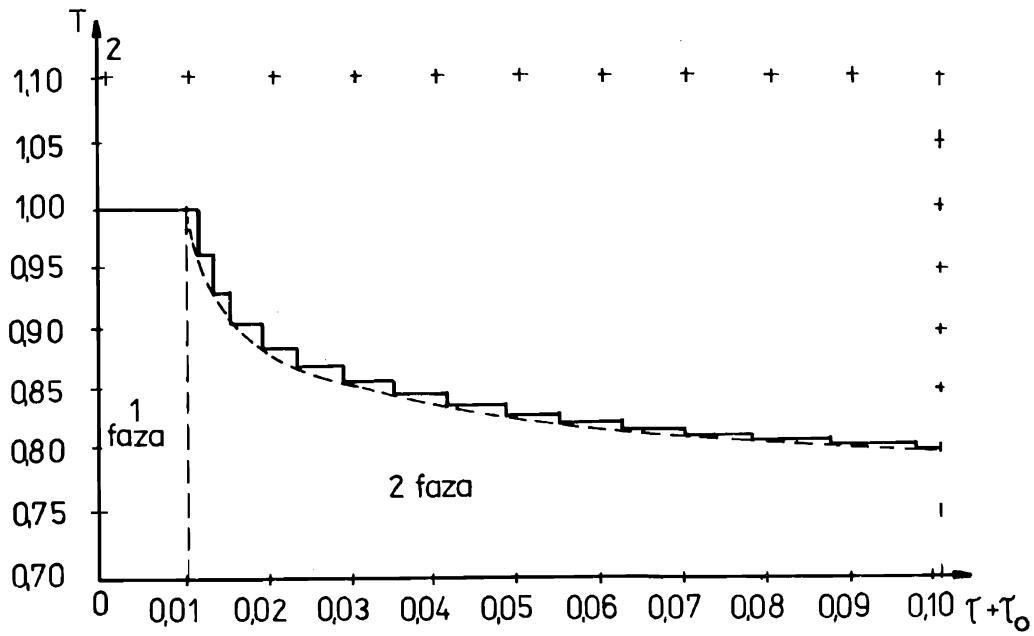


FIG. 1

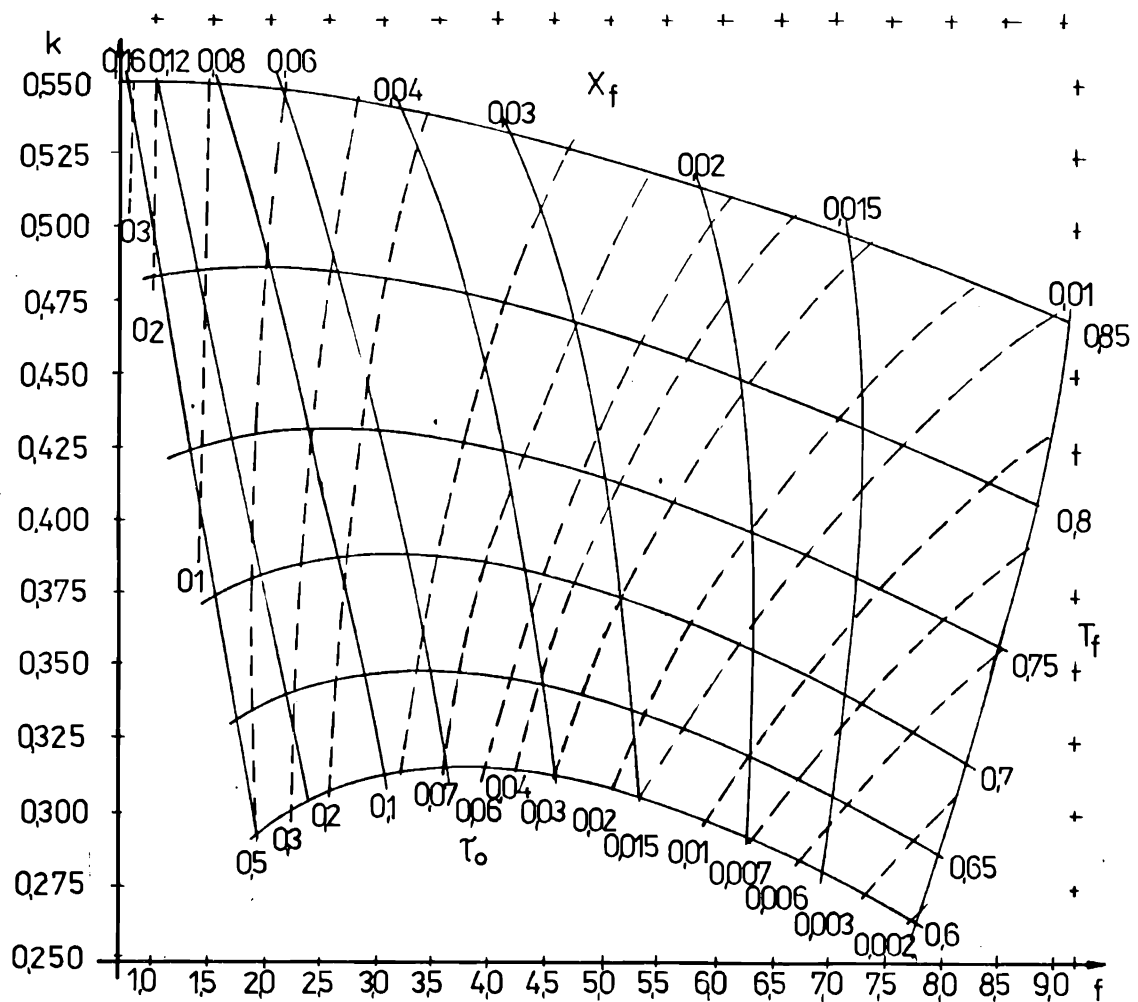


FIG. 2