

PRACE
AKADEMJI GÓRNICZEJ W KRAKOWIE
TRAVAUX DE L'ACADÉMIE DES MINES À CRACOVIE
ZESZYT 1 FASCICULE

HENRYK CZECZOTT

TEORJA
PRĄDÓW PRZEKĄTNYCH
THÉORIE DES CIRCUITS DIAGONAUX



KRAKÓW
NAKŁADEM AKADEMJI GÓRNICZEJ W KRAKOWIE
1925

Wszelkie prawa zastrzeżone.

Redakcja otrzymała rękopis dnia 15 grudnia 1924. r.

Redakcja „Prac Akademii Górniczej w Krakowie”: Kraków, Loretańska 18,
Zakład Mineralogiczny Akademii Górniczej.

La rédaction des „Travaux de l'Académie des Mines à Cracovie”: Institut
Minéralogique de l'Académie des Mines à Cracovie, rue Loretańska 18.



Egz. Archiwalny



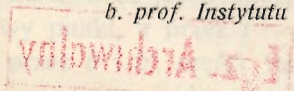
PRZEDMOWA.

W roku 1908 ogłosiłem drukiem swoją teorię prądów przekątnych, w języku rosyjskim w książce: »къ вопросу о проектировании вентиляции рудниковъ« ¹⁾, i później w r. 1910 podałem ją w streszczeniu w języku polskim, w „Przeglądzie Górniczo-Hutniczym“. W latach następnych teoria ta była przedmiotem krytyki rzeczoznawców, którzy nie zmieniając jej podstaw, wprowadzili pewne poprawki i uzupełnienia. Z drugiej strony, stosując na praktyce teorię do rozwiązywania różnych problemów przewietrzania kopalń w wielorakich przypadkach, miałem możność przekonać się tak o wartości samej teorii, jak i o tem, które z bardzo wielu możliwych a przeze mnie pierwotnie podanych sposobów okazały się najbardziej prostymi i wygodnymi. Ponadto teoria uległa dalszej ewolucji w jej zastosowaniu do tak nazwanych przeze mnie „systemów przekątnych obróconych“, oraz do regulacji „odjemnej“ we wszelkich przypadkach.

Praca niniejsza ma na celu podać do wiadomości czytelników fachowych wyniki tej dalszej ewolucji teorii. Przedtem jednak będą podane ważniejsze ustępy z teorii ogólnej, zwłaszcza te, które w polskim języku nie były dotąd ogłoszone, oraz zmiany i uzupełnienia wskazane przez krytykę rzeczową, jak również wyniki praktyczne stosowania teorii w obliczeniach.

Inż. górn. H. CZECZOTT

*prof. Górniczej Akademji Górniczej w Krakowie,
b. prof. Instytutu Górniczego w Petersburgu.*



¹⁾ Praca ta posłużyła do obrony dysertacji na uzyskanie stopnia naukowego w Instytucie Górniczym w Petersburgu.

ROZDZIAŁ I.

SYSTEM PRZEKĄTNY PROSTY.

§ 1. Określenie oporu systemu przekątnego prostego.

Przypomnijmy przedewszystkiem, że systemem przekątnym prostym nazywamy taki układ normalny 2 bocznic (rys. 1), które są połączone ze sobą bocznica „przekątną” pomiędzy dwoma jakimikolwiek bądź punktami środkowymi k i l . W takim systemie 5 bocznic, z których on się składa, oznaczamy zwykle: Al przez a , lB przez a' , Ak przez b , kB przez b' i kl przez c . Litery te jednocześnie oznaczają liczby miurgów¹⁾ tychże bocznic. Przypuszczamy oprócz tego, że ogólny spadek ciśnienia mamy od A ku B . Wówczas

jeżeli $\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'}$,

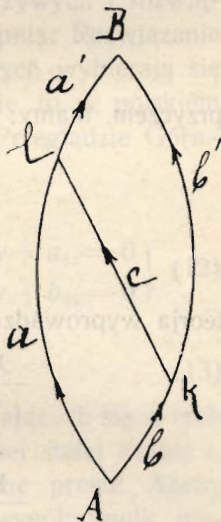
w bocznicy przekątnej c prąd płynie od k ku l ;

jeżeli $\frac{a}{b} = \frac{a'}{b'}$,

w bocznicy c żaden prąd nie istnieje; wreszcie

jeżeli $\frac{a}{b} < \frac{a'}{b'}$,

prąd w bocznicy przekątnej płynie w kierunku odwrotnym, od l ku k . Lecz jeżeli umówimy się przez k oznaczać zawsze początkowy punkt, a przez l — końcowy punkt bocznicy przekątnej, oraz przez b i b' , części tej bocznicy normalnej, od



Rys. 1.

¹⁾ Przypomnijmy również, że miurg jest to jednostka oporu = oporowi takiego przewodnika, przez który pod ciśnieniem 0,001 mm słupa wodnego przepływa 1 m³ w 1 sekundę. Więc ilość miurgów $M = 1000 \frac{h}{q^2} = 1000 \frac{L \cdot P}{S^2} \alpha$.

której się odgałęzia bocznica c , natomiast, przez a i a' , części tej bocznicy normalnej, do której podąża prąd przekątny, wówczas zawsze musimy mieć:

$$\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'} . \quad (1)$$

Jest to warunek niezbędny możliwości prądu w c w kierunku $k-l$.

Teorja polega przedewszystkiem na określeniu oporu takiego systemu, jeżeli znane są opory poszczególne części składowych. Przy oznaczeniach ilości powietrza w bocznicach a, a', b, b' i c przez $q_a, q_{a'}, q_b, q_{b'}$ i q_c , oraz stosunków:

$$\frac{q_a}{q_c} = X , \quad (2)$$

$$\frac{q_{b'}}{q_c} = Y \quad (3)$$

przyczem, mamy:

$$\frac{q_{a'}}{q_c} = 1 + X , \quad (4)$$

$$\frac{q_b}{q_c} = 1 + Y , \quad (5)$$

teorja wyprowadza równania zasadnicze:

$$\frac{X^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(1+Y)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} = 1 \quad . \quad (C_1) , \quad (6)$$

$$\frac{Y^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(1+X)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} = 1 \quad . \quad (C_2) , \quad (7)$$

które dają możność znaleźć stosunki podziału powietrza na bocznicę, X i Y , poczem dla określenia oporu ogólnego M w miurgach, ustala 4 wzory:

$$1. \quad M_1 = \frac{aX^2 + a'(1+X)^2}{(X+Y+1)^2} , \quad (8)$$

$$2. \quad M_2 = \frac{b(1+Y)^2 + b'Y^2}{(X+Y+1)^2} , \quad (9)$$

$$3. \quad M_3 = \frac{a'(1+X)^2 + b(1+Y)^2 + c}{(X+Y+1)^2} , \quad (10)$$

$$4. \quad M_4 = \frac{aX^2 + b'Y^2 - c}{(X + Y + 1)^2}. \quad (11)$$

W obliczeniach tych największą trudność stanowi rozwiązanie równań C_1 i C_2 drugiego stopnia, doprowadzają bowiem one do równania 4-go stopnia. To też krytyka przeważnie dotyczyła sposobu rozwiązywania tych równań.

§ 2. Rozwiązanie analityczne równań C_1, C_2 (dokładne).

W cytowanej wyżej książce rosyjskiej podałem analityczny sposób rozwiązania równań C_1 i C_2 , znany z geometrii analitycznej, a polegający na odszukaniu współrzędnych punktów przecięcia się krzywych drugiego stopnia, jakie przedstawiają równania C_1 i C_2 . Sposób polega na odszukaniu równań 3 par linii prostych, łączących po 2 punkty z 4 punktów przecięcia się krzywych i rozwiązaniu dowolnych par tych równań pierwszego stopnia: Rozwiązanie oczywiście daje po 4 wartości dla X i Y , z których wybierają się te, które są jednocześnie dodatnie. Rozwiązanie to w polskim streszczeniu pracy powyższej, umieszczonem w Przeglądzie Górniczo-Hutn., nie było podane. Załączam je tutaj:

Postać ogólna krzywych stożkowych jest:

$$\begin{aligned} f_1(xy) &= a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0 \\ f_2(xy) &= b_{11}x^2 + 2b_{12}xy + b_{22}y^2 + 2b_{13}x + 2b_{23}y + b_{33} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Wówczas:

$$f_1(xy) - \lambda \cdot f_2(xy) = 0 \quad (13)$$

jest równaniem ogólnem pęku krzywych, przecinających się w tych samych punktach z krzywymi f_1 i f_2 przy dowolnej stałej liczbie λ .

W pęku (13) zawierają się również szukane proste. Ażeby więc znaleźć równania tych prostych, należy współczynnik nieznaną λ określić z warunku zamiany funkcji (13) na iloczyn 2 funkcji linjowych. Warunek ten polega na tem, żeby wyznacznik współczynników równania (13), był równym zeru:

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda b_{11} & a_{12} - \lambda b_{12} & a_{13} - \lambda b_{13} \\ a_{12} - \lambda b_{12} & a_{22} - \lambda b_{22} & a_{23} - \lambda b_{23} \\ a_{13} - \lambda b_{13} & a_{23} - \lambda b_{23} & a_{33} - \lambda b_{33} \end{vmatrix} = 0. \quad (14)$$

Rozwijając wyznacznik i porządkując wyrazy podług potęg liczby λ , otrzymamy:

$$\Delta_1 \lambda^3 - P \cdot \lambda^2 + Q \cdot \lambda - \Delta = 0 \quad (15)$$

równanie 3-go stopnia, gdyż szukanych par prostych istnieje trzy.

W równaniu (15)

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{12} & b_{22} & b_{23} \\ b_{13} & b_{23} & b_{33} \end{vmatrix}, \quad (16)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}, \quad (17)$$

$$P = B_{11}a_{11} + 2B_{12}a_{12} + B_{22}a_{22} + 2B_{13}a_{13} + 2B_{23}a_{23} + B_{33}a_{33}, \quad (18)$$

$$Q = A_{11}b_{11} + 2A_{12}b_{12} + A_{22}b_{22} + 2A_{13}b_{13} + 2A_{23}b_{23} + A_{33}b_{33}, \quad (19)$$

gdzie B_{ik} są to minory wyznacznika Δ_1 , zaś A_{ik} — minory wyznacznika Δ .

Jeżeli rozwiążemy równanie (15) i jego pierwiastki $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ wstawimy kolejno do funkcji (13), to ta ostatnia zamieni się w iloczyn 2 funkcij linjowych:

$$\left. \begin{aligned} f_1 - \lambda_1 \cdot f_2 &= A \cdot A', \\ f_2 - \lambda_2 \cdot f_3 &= B \cdot B', \\ f_3 - \lambda_3 \cdot f_1 &= C \cdot C', \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

przyczem funkcje A, B, C, A', B', C' , przyrównane do zera dają równania szukanych prostych.

Współczynniki funkcji $A, A', B, \dots$ mogą być określone następującym sposobem. Napiszmy jedno z równań (20) w postaci:

$$f_k(x, y) = (\alpha_1 x + \beta_1 y + \gamma_1)(\alpha_2 x + \beta_2 y + \gamma_2) \quad (21)$$

i porównajmy ze sobą współczynniki obu stron:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{k,11} &= \alpha_1 \alpha_2, & 2\alpha_{k,12} &= \alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1, \\ \alpha_{k,22} &= \beta_1 \beta_2, & 2\alpha_{k,13} &= \alpha_1 \gamma_2 + \alpha_2 \gamma_1, \\ \alpha_{k,33} &= \gamma_1 \gamma_2, & 2\alpha_{k,23} &= \beta_1 \gamma_2 + \beta_2 \gamma_1, \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Dzieląc górne i dolne równania grupy (22) przez $\beta_1 \cdot \beta_2^{-1}$, otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\alpha_1}{\beta_1} \cdot \frac{\alpha_2}{\beta_2} &= \frac{\alpha_{k,11}}{\alpha_{k,22}}; & \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} &= \frac{2\alpha_{k,12}}{\alpha_{k,22}}, \\ \frac{\gamma_1}{\beta_1} \cdot \frac{\gamma_2}{\beta_2} &= \frac{\alpha_{k,33}}{\alpha_{k,22}}; & \frac{\gamma_1}{\beta_1} + \frac{\gamma_2}{\beta_2} &= \frac{2\alpha_{k,23}}{\alpha_{k,22}} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

²⁾ O ile jest $\alpha_{k,22} \neq 0$, co zakładamy.

Wskutek tego równanie (21) może przybrać postać:

$$f_{\lambda}(x, y) = \beta_1 \beta_2 (\mu_1 x + y + \nu_1) (\mu_2 x + y + \nu_2) \quad (24)$$

gdzie μ_1, μ_2 , oraz ν_1, ν_2 na mocy (23) są pierwiastkami równań drugiego stopnia:

$$\mu^2 - \frac{2a_{\lambda 12}}{a_{\lambda 22}} \mu + \frac{a_{\lambda 11}}{a_{\lambda 22}} = 0, \quad (25)$$

$$\nu^2 - \frac{2a_{\lambda 23}}{a_{\lambda 22}} \nu + \frac{a_{\lambda 33}}{a_{\lambda 22}} = 0, \quad (26)$$

szukane zaś równania prostych są:

$$(a_{\lambda 12} + \sqrt{-A_{\lambda 33}}) x + a_{\lambda 22} y + (a_{\lambda 23} + \sqrt{-A_{\lambda 11}}) = 0, \quad (27)$$

$$(a_{\lambda 12} - \sqrt{-A_{\lambda 33}}) x + a_{\lambda 22} y + (a_{\lambda 23} - \sqrt{-A_{\lambda 11}}) = 0, \quad (28)$$

gdzie $A_{\lambda 33}$ i $A_{\lambda 11}$ są minorami wyznacznika współczynników funkcji $f_{\lambda}(x, y)$.

Zastosujemy te wzory ogólne do danego przypadku.

Równaniom C_1 i C_2 nadajmy postać:

$$\left. \begin{aligned} aX^2 - bY^2 - 2bY - (b + c) &= 0, \\ -a'X^2 + b'Y^2 - 2a'X - (a' + c) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Przez porównanie z (12) mamy:

$$\begin{aligned} a_{11} &= a, & b_{11} &= -a', \\ a_{22} &= -b, & b_{22} &= b', \\ a_{33} &= -(b + c), & b_{33} &= -(a' + c), \\ a_{12} &= 0, & b_{12} &= 0, \\ a_{13} &= 0, & b_{13} &= -a', \\ a_{23} &= -b, & b_{23} &= 0. \end{aligned}$$

Podług wzorów (16), (17), (18) i (19) układamy współczynniki równania (15):

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -a', & 0, & -a' \\ 0, & b, & 0 \\ -a', & 0, & -(a' + c) \end{vmatrix} = a'b'c, \quad (30)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a, & 0, & 0 \\ 0, & -b, & -b \\ 0, & -b, & -(b + c) \end{vmatrix} = abc. \quad (31)$$

Minory wyznacznika Δ_1 :

$$\begin{aligned} B_{11} &= -b'(a' + c), & B_{12} &= 0, \\ B_{22} &= a'c, & B_{13} &= a'b', \\ B_{33} &= -a'b', & B_{23} &= 0. \end{aligned}$$

Minory wyznacznika Δ :

$$\begin{aligned} A_{11} &= bc, & A_{12} &= 0, \\ A_{22} &= -a(b + c), & A_{13} &= 0, \\ A_{33} &= -ab, & A_{23} &= ab. \end{aligned}$$

Wówczas:

$$P = a'b'(b + c) - ab'(a' + c) - a'bc, \quad (32)$$

$$Q = ab(a' + c) - ab'(b + c) - a'bc. \quad (33)$$

Rozwiązanie równania (15), o ile $\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'}$, winno dać 3 pierwiastki rzeczywiste $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; poczem układamy współczynniki funkcji $f_\lambda(x, y)$:

$$a_{11} - \lambda_n b_{11} = a + \lambda_n a', \quad (34)$$

$$a_{22} - \lambda_n b_{22} = -(b + \lambda_n b'),$$

$$a_{33} - \lambda_n b_{33} = -(b + c) + \lambda_n(a' + c), \quad (35)$$

$$a_{12} - \lambda_n b_{12} = 0,$$

$$a_{13} - \lambda_n b_{13} = \lambda_n a', \quad (36)$$

$$a_{23} - \lambda_n b_{23} = -b,$$

oraz minory:

$$-A_{\lambda 33} = (a + \lambda a')(b + \lambda b'), \quad (37)$$

$$-A_{\lambda 11} = b^2 + [\lambda(a' + c) - (b + c)](b + \lambda b') \quad (38)$$

i szukane równania prostych są:

$$\left. \begin{aligned} 1. \quad & \sqrt{-A'_{33}} \cdot x - (b + \lambda_1 b')y - b + \sqrt{-A'_{11}} = 0 \\ 2. \quad & -\sqrt{-A'_{33}} \cdot x - (b + \lambda_1 b')y - b - \sqrt{-A'_{11}} = 0 \end{aligned} \right\} \text{I,} \quad (39)$$

$$\left. \begin{aligned} 3. \quad & \sqrt{-B'_{33}} \cdot x - (b + \lambda_2 b')y - b + \sqrt{-B'_{11}} = 0 \\ 4. \quad & -\sqrt{-B'_{33}} \cdot x - (b + \lambda_2 b')y - b - \sqrt{-B'_{11}} = 0 \end{aligned} \right\} \text{II,} \quad (40)$$

$$\left. \begin{aligned} 5. \quad & \sqrt{-C'_{33}} \cdot x - (b + \lambda_3 b')y - b + \sqrt{-C'_{11}} = 0 \\ 6. \quad & \sqrt{-C'_{33}} \cdot x - (b + \lambda_3 b')y - b - \sqrt{-C'_{11}} = 0 \end{aligned} \right\} \text{III, (41)}$$

gdzie A', B', C' są odpowiednimi minorami przy $\lambda_n = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$.

Dla określenia współrzędnych punktów przecięcia się wystarczy rozwiązanie równań 2 par prostych; np. 1 i 3, 1 i 4, 2 i 3, 2 i 4. Kombinacje z 3-cią parą mogą służyć dla sprawdzenia.

Przykład liczbowy. $a = 481$; $a' = 51$; $b = 12$; $b' = 337$; $c = 721$. Ponieważ $\frac{a}{b} = \frac{481}{12} > \frac{a'}{b'} = \frac{51}{337}$; przeto system jest rozwiązalny. W praktycznem zastosowaniu wzorów podanych, przedewszystkiem dla ułatwienia obliczeń współczynników równania (15) nadajmy mu postać następującą:

$$\lambda^3 - \lambda^2 \left[\left(\frac{b}{c} + 1 \right) - \frac{a}{a'} \left(\frac{a'}{c} + 1 \right) - \frac{b}{b'} \right] + \lambda \left[\frac{a}{a'} \cdot \frac{b}{b'} \left(\frac{a'}{c} + 1 \right) - \frac{a}{a'} \left(\frac{b}{c} + 1 \right) - \frac{b}{b'} \right] - \frac{a}{a'} \cdot \frac{b}{b'} = 0$$

$$\text{czyli} \quad \lambda^3 + \lambda^2 \alpha + \lambda \beta + \gamma = 0; \quad (42)$$

$$\text{więc: } \alpha = - \left[\left(\frac{12}{721} + 1 \right) - \frac{481}{51} \left(\frac{51}{721} + 1 \right) - \frac{12}{337} \right] = 9,118.$$

$$\beta = + \left[\frac{481}{51} \cdot \frac{12}{337} \left(\frac{51}{721} + 1 \right) - \frac{481}{51} \left(\frac{12}{721} + 1 \right) - \frac{12}{337} \right] = -9,264.$$

$$\gamma = - \frac{481}{51} \cdot \frac{12}{337} = -0,336.$$

Równanie (42) doprowadzone do postaci normalnej:

$$u^3 + p \cdot u + q = 0 \quad (43)$$

ma następujące współczynniki:

$$p = \beta - 3 \left(\frac{\alpha}{3} \right)^2 = -9,264 - 3 \cdot \left(\frac{9,118}{3} \right)^2 = -36,97,$$

$$q = 2 \left(\frac{\alpha}{3} \right)^3 - \left(\frac{\alpha}{3} \right) \beta + \gamma = 2 \cdot \left(\frac{9,118}{3} \right)^3 + \left(\frac{9,118}{3} \right) \cdot 9,264 - 0,336 = 83,95.$$

Ponieważ przy zachowaniu warunku $\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'}$ wszystkie pierwiastki winny być rzeczywistymi, przeto pierwiastki równania (43) winny być sumami trzech pierwiastków z liczb sprzężonych, czyli:

$$u = \sqrt[3]{a + bi} + \sqrt[3]{a - bi}$$

gdzie:

$$a = -\frac{q}{2} = -41,975$$

$$b = \sqrt[3]{-\left[\left(\frac{q}{2} \right)^2 + \left(\frac{p}{3} \right)^3 \right]} = \sqrt[3]{-\left[41,975^2 + \left(-\frac{36,97}{3} \right)^3 \right]} = 10,63.$$

Kładąc: $\varphi = \sqrt[3]{\sqrt{a^2 + b^2}} = 3,510$,

$$\varphi = \frac{1}{3} \arccos \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} = 55^\circ, 15' 40'';$$

albo: $\varphi = \frac{1}{3} \arcsin \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \dots$

otrzymujemy:

$$u_1 = 2\varphi \cos \varphi = 4,0008,$$

$$u_2 = -\varphi (\cos \varphi + \sqrt{3} \sin \varphi) = -7,0035,$$

$$u_3 = -\varphi (\cos \varphi - \sqrt{3} \sin \varphi) = 3,004.$$

Wraz:

$$\lambda_1 = u_1 - \frac{\alpha}{3} = 0,962,$$

$$\lambda_2 = u_2 - \frac{\alpha}{3} = -10,047,$$

$$\lambda_3 = u_3 - \frac{\alpha}{3} = -0,035.$$

Następnie według wzorów (34), (37) i (38) obliczamy współczynniki równań (39) i (40):

$$(b + \lambda_1 b') = 12 + 0,962 \cdot 337 = 336,$$

$$(b + \lambda_2 b') = 12 - 10,047 \cdot 337 = -3374.$$

$$\sqrt{-A'_{22}} = \sqrt{(a + \lambda_1 a')(b + \lambda_1 b')} = \sqrt{(481 + 0,962 \cdot 51) \cdot 336} = 422,$$

$$\sqrt{-B'_{22}} = \sqrt{(a + \lambda_2 a')(b + \lambda_2 b')} = \sqrt{(481 - 10,047 \cdot 51) \cdot (-3374)} = 324,$$

$$\begin{aligned} \sqrt{-A'_{11}} &= \sqrt{b^2 - [\lambda_1(a' + c) - (b + c)](b + \lambda_1 b')} = \\ &= \sqrt{12^2 - [0,962(721 + 51) - (12 + 72)](336)} = 58, \end{aligned}$$

$$\sqrt{-B'_{11}} = \sqrt{12^2 - [-10,047 \cdot 722 - 733](-3374)} = 5358.$$

Szukane równania prostych są:

albo:

$$1. \quad 422x - 336y - 12 + 58 = 0, \quad 1. \quad y = 1,256x + 0,137,$$

$$2. \quad -422x - 336y - 12 - 58 = 0, \quad 2. \quad y = -1,256x - 0,208,$$

$$3. \quad +324x + 3374y - 12 + 5358 = 0, \quad 3. \quad y = -0,096x - 1,584,$$

$$4. \quad -324x + 3374y - 12 - 5358 = 0, \quad 4. \quad y = 0,096x + 1,592.$$

Rozwiązanie równań 1 i 4, daje dodatnie wartości X i Y :

$$X = 1,25; \quad Y = 1,72.$$

§ 3. Rozwiązanie analityczne równań C_1 , C_2 przybliżone. Podany w § 2 sposób rozwiązania równań C_1 i C_2 jest

sposobem zupełnie ścisłym, lecz wymaga bardzo długich obliczeń; posiadając więc charakter czysto teoretyczny, nie może mieć zastosowania w rozwiązywaniu zadań praktycznych. Słusznie przeto krytyka zwróciła uwagę, że rozwiązanie zupełnie ścisłe nie może mieć żadnego praktycznego znaczenia i zajęła się opracowaniem sposobów przybliżonych. W literaturze fachowej znajdujemy przybliżone rozwiązania podane przez dwóch autorów: Protodjakonowa i St. Doborzyńskiego.

Prof. Protodjakonow ¹⁾ proponuje rozwiązanie równań drogą przybliżonych wartości X , Y . Rozwiązując równania zasadnicze C_1 , C_2 względem X i Y , otrzymujemy:

$$X = \sqrt{\frac{b}{a}(1+Y)^2 + \frac{c}{a}} \quad (44)$$

$$Y = \sqrt{\frac{a'}{b'}(1+X)^2 + \frac{c}{a}} \quad (45)$$

Nadając dla pierwszego przybliżenia jakąkolwiek wartość Y , z równania (44) znajdujemy odpowiednią wartość X . Wstawiając następnie znaną wartość X do równania (45), określamy Y w drugim przybliżeniu; następnie wstawiając tę nową wartość Y do pierwszego równania, znajdziemy drugie przybliżenie dla X i t. d. Wkrótce spostrzeżemy, że otrzymywane wartości będą mało się różniły między sobą i jedno z nich będziemy mogli przyjąć za rozwiązanie rzeczywiste z bardzo nieznacznym błędem. Protodjakonow proponuje dla pierwszego przybliżenia przyjąć wartość $Y = 1$.

Dla powyższego przykładu otrzymamy:

$$\text{1-sze przybliżenie: } X = \sqrt{\frac{12}{481}(1+1)^2 + \frac{721}{481}} = \sqrt{0,027 \cdot 4 + 1,5} = 1,27,$$

$$\text{2-gie przybliżenie: } Y = \sqrt{\frac{51}{337}(1+1,27)^2 + \frac{721}{337}} = \sqrt{0,151 \cdot 2,27^2 + 2,14} = 1,71$$

$$X = \sqrt{0,027 \cdot 2,71^2 + 1,5} = 1,30,$$

$$\text{3-cie przybliżenie: } Y = \sqrt{0,151 \cdot 2,30^2 + 2,14} = 1,715,$$

$$X = \sqrt{0,027 \cdot 2,715^2 + 1,5} = 1,302.$$

¹⁾ Protodjakonow, b. profesor Instytutu Górniczego w Jekaterynosławiu. Kurs wentylacji kopalń.

Widzimy, że w danym przypadku już drugie przybliżenie daje wynik niemal nie różniący się od trzeciego. Wszakże dopiero po trzecim rozwiązaniu można wnosić, że jesteśmy w posiadaniu wyników statecznych. Szybkość rozwiązania w danym przypadku, spowodowana jest tem, że już pierwsze przypuszczenie $Y=1$ nie jest dalekie od rzeczywistości.

Odmienny sposób, bardzo ładny pod względem matematycznym, zaproponował St. Doborzyński¹⁾. Wzorując się na sposobie Redtenbachera, zastosowanym do znalezienia pierwiastka ze sumy kwadratów:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = 0,960x + 0,368y$$

Doborzyński zakłada:

$$\sqrt{x^2 - y^2} = \alpha \cdot x - \beta \cdot y \quad (46)$$

oraz:

$$x = \rho \cdot \cos \text{hyp}\varphi = \rho \cdot \cos i\varphi, \quad (47)$$

$$y = \rho \cdot \sin \text{hyp}\varphi = -\rho \cdot i \sin i\varphi, \quad (48)$$

$$\frac{y}{x} = \text{tghyp}\varphi = -i \cdot \text{tg}i\varphi. \quad (49)$$

Dla danych α i β , można określić stałą wartość φ . Lecz jeżeli α i β przyjmujemy niewłaściwie, czyli innemi słowy będziemy je uważali za zmienne, wówczas i wyniki będą błędne. To znaczy, że równanie (46), które po podstawieniu wartości (47) i (48) daje:

$$\alpha \cos i\varphi + i\beta \sin i\varphi = 1, \quad (50)$$

nie będzie spełnione, i błąd będzie wynosił:

$$v = \alpha \cdot \cos i\varphi + i\beta \sin i\varphi - 1. \quad (51)$$

Stosując metodę najmniejszych kwadratów dla znalezienia tych wartości α i β , przy których błąd staje się najmniejszym, gdy φ przybiera różne wartości od φ_1 do φ_2 , Doborzyński układa sumę kwadratów wyrazów (51) w pewnych granicach φ :

$$\begin{aligned} \sum v^2 = \alpha^2 \sum_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos^2 i\varphi + 2i\alpha\beta \sum_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos i\varphi \cdot \sin i\varphi - \beta^2 \sum_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin^2 i\varphi - \\ - 2\alpha \sum_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos i\varphi - 2i\beta \sum_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin i\varphi + 1 \end{aligned} \quad (52)$$

¹⁾ B. profesor Tomskiego Instytutu technologicznego i Akademii Górniczej w Krakowie. „Przegląd Górn.-Hutn.“, 1912, nr. 15. Umarł w r. 1922.

i pochodne cząstkowe względem α i β przyrównujemy do 0, zastępując jednocześnie sumy przez całki, o ile φ może być uważane za zmienną ciągłą. W ten sposób otrzymuje:

$$\left. \begin{aligned} \alpha \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos^2 i\varphi \cdot id\varphi + i\beta \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos i\varphi \cdot \sin i\varphi \cdot id\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos i\varphi \cdot id\varphi &= 0 \\ i\alpha \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos i\varphi \cdot \sin i\varphi \cdot id\varphi - \beta \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin^2 i\varphi \cdot id\varphi - i \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin i\varphi \cdot id\varphi &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (53)$$

wreszcie całkowanie daje:

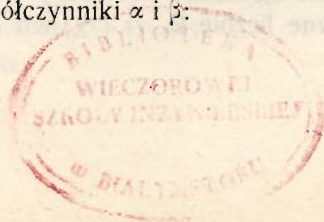
$$\left. \begin{aligned} \alpha [\cos (i\varphi_2 + i\varphi_1) \sin (i\varphi_2 - i\varphi_1) + (i\varphi_2 - i\varphi_1)] + \\ + i\beta [\sin (i\varphi_2 + i\varphi_1) \sin (i\varphi_2 - i\varphi_1)] = \\ = 4 \cos \frac{i\varphi_2 + i\varphi_1}{2} \sin \frac{i\varphi_2 - i\varphi_1}{2}, \\ i\alpha [\sin (i\varphi_2 + i\varphi_1) \sin (i\varphi_2 - i\varphi_1)] + \\ + \beta [\cos (i\varphi_2 + i\varphi_1) \sin (i\varphi_2 - i\varphi_1) - (i\varphi_2 - i\varphi_1)] = \\ = 4i \sin \frac{i\varphi_2 + i\varphi_1}{2} \sin \frac{i\varphi_2 - i\varphi_1}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

Z tych równań otrzymamy α i β :

$$\alpha = \frac{4 \operatorname{Coshyp} \frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2} \sin \operatorname{hyp} \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}}{\sin \operatorname{hyp} (\varphi_2 - \varphi_1) + (\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (55)$$

$$\beta = \frac{4 \sin \operatorname{hyp} \frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2} \sin \operatorname{hyp} \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}}{\sin \operatorname{hyp} (\varphi_2 - \varphi_1) + (\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (56)$$

Przy tych wartościach α i β zastępując pierwiastek różnicy kwadratów przez różnicę ich pierwiastków, otrzymamy najmniejszy błąd, jeżeli założymy określone granice wahania dla φ , które się określają przez funkcję $\operatorname{tghyp} \varphi$, a ta funkcja się zmienia, jak to widzimy w naszym przypadku w granicach od 0 do 1. Posiłkując się tablicami funkcji hiperbolicznych, Doborzyński układa tabelkę liczb φ_1 i φ_2 dla różnych wielkości $\operatorname{tghyp} \varphi$ i podług wzorów (55) i (56) określa odpowiednie współczynniki α i β :



$\operatorname{tghyp}\varphi = \frac{y}{x}$	φ_1	φ_2	α	β
0,00 — 0,1	0,	0,1	1,	0,05
0,1 — 0,2	1,	0,21	1,01	0,15
0,2 — 0,5	0,21	0,55	1,01	0,17
0,5 — 0,75	0,55	0,98	1,25	0,79
0,75 — 0,995	0,98	3,00	3,10	2,99
0,00 — 1,00	0,00	—	2,00	2,00

W ten sposób równania C_1, C_2 drugiego stopnia Doborzyński zastępuje przez równania liniowe; jeżeli bowiem:

$$\left. \begin{aligned} \frac{X^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(Y+1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} &= 1, \\ \frac{Y^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(X+1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} &= 1, \end{aligned} \right\}, \text{ a więc również } \left. \begin{aligned} \sqrt{\frac{X^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(Y+1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)}} &= 1, \\ \sqrt{\frac{Y^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(X+1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)}} &= 1, \end{aligned} \right\}$$

przeto mamy:

$$\alpha_1 \frac{X}{\sqrt{\frac{c}{a}}} - \beta_1 \frac{(Y+1)}{\sqrt{\frac{c}{b}}} = 1, \quad \alpha_2 \frac{Y}{\sqrt{\frac{c}{b'}}} - \beta_2 \frac{X+1}{\sqrt{\frac{c}{a'}}} = 1. \quad (57)$$

Dla wyboru współczynników α i β , należy w sposób przybliżony określić:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tghyp}\varphi_1 &= \frac{Y+1}{\sqrt{\frac{c}{b}}} : \frac{X}{\sqrt{\frac{c}{a}}} = \frac{Y+1}{X} \sqrt{\frac{b}{a}} \\ \operatorname{tghyp}\varphi_2 &= \frac{X+1}{\sqrt{\frac{c}{a'}}} : \frac{Y}{\sqrt{\frac{c}{b'}}} = \frac{X+1}{Y} \sqrt{\frac{a'}{b'}} \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

Doborzyński radzi dla pierwszego przybliżenia przyjmować przypadek najbardziej szeroki $\operatorname{tghyp}\varphi = 0 - 1$ i stosownie do tego przypuszczenia zgodnie z powyższą tabelką przyjmować współczynniki α, β równe liczbie 2.

W ten sposób należy rozwiązać przedewszystkiem równania:

$$\left. \begin{aligned} 2 \cdot \frac{X}{\sqrt{\frac{c}{a}}} - 2 \frac{Y+1}{\sqrt{\frac{c}{b}}} &= 1, \\ 2 \cdot \frac{Y}{\sqrt{\frac{c}{a'}}} - 2 \frac{X+1}{\sqrt{\frac{c}{b'}}} &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

potem, określając podług (58) $\text{tg}hyp\varphi_1$ i $\text{tg}hyp\varphi_2$, wybrać dla drugiego przybliżenia nowe współczynniki z tabelki, przyczem, jak twierdzi Doborzyński, bardzo szybko dochodzi się do rozwiązania bardzo bliskiego do rzeczywistości.

Tak więc, dla poprzedniego przykładu mamy:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{\frac{c}{a}}} &= \sqrt{\frac{481}{721}} = 0,82, & \frac{1}{\sqrt{\frac{c}{b}}} &= \sqrt{\frac{12}{721}} = 0,14, \\ \frac{1}{\sqrt{\frac{c}{b'}}} &= \sqrt{\frac{337}{74}} = 0,69, & \frac{1}{\sqrt{\frac{c}{a'}}} &= \sqrt{\frac{51}{721}} = 0,26, \end{aligned}$$

i układamy 2 nadzwyczaj proste równania podług (59):

$$\begin{aligned} 2 \cdot 0,82X - 2 \cdot 0,14(Y+1) &= 1, \\ 2 \cdot 0,69Y - 2 \cdot 0,26(X+1) &= 1, \end{aligned}$$

lub:

$$\begin{aligned} 1,64X - 0,28Y &= 1,28, \\ -0,52X + 1,38Y &= 1,52, \end{aligned}$$

skąd:

$$X_1 = 1,04; \quad Y_1 = 1,49.$$

Dla drugiego przybliżenia podług (58) określamy:

$$\begin{aligned} \text{tg}hyp\varphi_1 &= \frac{Y+1}{X} \sqrt{\frac{b}{a}} = \frac{2,49}{1,04} \sqrt{\frac{12}{481}} = 0,425, \\ \text{tg}hyp\varphi_2 &= \frac{X+1}{Y} \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \frac{2,04}{1,49} \sqrt{\frac{51}{337}} = 0,54. \end{aligned}$$

Zgodnie z tem, z tabelki wybieramy:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 1,01, & \alpha_2 &= 1,25, \\ \beta_1 &= 0,17, & \beta_2 &= 0,79 \end{aligned}$$

i układamy równania:

$$\begin{aligned} 1,01 \cdot 0,82X - 0,17 \cdot 0,14(Y+1) &= 1, \\ 1,25 \cdot 0,69Y - 0,79 \cdot 0,26(X+1) &= 1, \end{aligned}$$

lub:

$$\begin{aligned} 0,83X - 0,02Y &= 1,02, \\ -0,21X + 0,86Y &= 1,21, \end{aligned}$$

skąd:

$$X_2 = 1,27, \quad Y_2 = 1,70.$$

Rozwiązania te są ostatnie, gdyż:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}hyp\varphi_1 &= \frac{2,70}{1,27} \sqrt{\frac{12}{481}} = 0,36, \\ \operatorname{tg}hyp\varphi_2 &= \frac{2,27}{1,70} \sqrt{\frac{51}{337}} = 0,52, \end{aligned}$$

pozostały w tych samych granicach, a więc z tabelki Doborzyńskiego otrzymamy te same współczynniki dla α , β i nowych równań ułożyć nie potrafimy. Dla bardziej dokładnych rozwiązań należałoby podług wielkości $\operatorname{tg}hyp\varphi$ określić α i β ze wzorów (55) i (56); lecz to jest kłopotliwe. Należałoby raczej rozszerzyć tabelkę. W rzeczywistości otrzymane wartości w drugim przybliżeniu są bardzo zbliżone do prawdziwych.

Prof. Doborzyński podaje dalej sposób również prosty rozwiązania zadania bez uciekania się do tabelki, wychodząc wszakże z równań (59). Mianowicie, oznacza on błędy w wyliczeniach X_1 i Y_1 przez ξ i η ; wstawia w równania zasadnicze C_1 i C_2 wartości $(X_1 + \xi)$ i $(Y_1 + \eta)$, następnie skreślając wyrazy, zawierające ξ^2 , η^2 , jako nieznaczące, i rozwiązując otrzymane równania względem ξ i η , znajduje błędy, które, po dodaniu ich do poprzednio otrzymanych wartości X_1 i Y_1 , dają nowe wartości drugiego przybliżenia X_2 , Y_2 . Postępując dalej w ten sam sposób, będziemy otrzymywali coraz to mniejsze błędy, aż wreszcie w pewnej chwili uznamy wyniki za wystarczające. Sposób ten, dobry w braku tabelki Doborzyńskiego, zezwalając na wyszukanie rozwiązania przybliżonego z dowolnym stopniem dokładności, wymaga wszakże więcej obliczeń i do tych samych wyników doprowadza przez większą ilość przybliżeń. To też Doborzyński sądzi, że lepszym i krótszym, a dostatecznie ścisłym jest sposób osnuty na wyznaczaniu współczynników α i β ¹⁾.

Porównyując obydwa sposoby, Protodjakonowa i Doborzyńskiego, przychodzimy do wniosku niewątpliwego, że sposób Doborzyńskiego jest wygodniejszy, gdyż rozwiązywanie równań 1-go stopnia jest zawsze prostsze niż rozwiązywanie równań stopnia 2-go.

Szybkości rozwiązania przykładu liczbowego, wziętego z pracy oryginalnej autora, są dla obu sposobów jednakowe; obydwa bowiem już

¹⁾ Doborzyński pozatem daje sposób graficzny rozwiązania równań przybliżonych, jako też oszacowania wielkości $\operatorname{tg}hyp\varphi$. Sposób ten sam autor nie uznaje za wygodny, wskutek czego pomijam zamieszczenie go tutaj.

w drugim przybliżeniu doprowadzają do wyników, które mogą być przyjęte za ostateczne. Nie można wszakże uogólniać tych wyników na wszystkie przypadki liczbowe, jakie się mogą nastręczyć.

Weźmy, na przykład, przypadek następujący:

$$a = 411; \quad a' = 81; \quad b = 332; \quad b' = 210; \quad c = 422.$$

Dokładne rozwiązanie tego układu daje $X = 4,31$; $Y = 3,60$. Stosując metodę Doborzyńskiego za pomocą współczynników α i β , dochodzimy kolejno do następujących wyników:

$$\begin{array}{lll} X_1 = 6, & X_2 = 4,12, & X_3 = 4,84, \\ Y_1 = 5, & Y_2 = 3,15, & Y_3 = 3,90 \end{array}$$

i dalej będziemy otrzymywali te same wyniki z braku dokładniejszej tabelki. W danym przypadku drugie przybliżenie jest bliższe rzeczywistości, aniżeli trzecie, lecz wiedzieć z góry o tem nie możemy. Zapewne, gdyby tabela Doborzyńskiego zawierała więcej pozycji, w czwartym przybliżeniu otrzymalibyśmy wynik ostateczny. Stosując zaś metodę błędów ξ , η otrzymamy szereg następujących rezultatów:

$$\begin{array}{lll} X_1 = 6, & X_2 = 2,2, & X_3 = 5,75, \dots \\ Y_1 = 5, & Y_2 = 0,92, & Y_3 = 4,95, \dots \end{array}$$

Liczby te i znacznie się odchylają od wartości istotnych i bardzo powoli z obu stron do nich się zbliżają, zatem wypadnie wykonać zbyt wiele obliczeń, zanim zbliżymy się do wyników ostatecznych.

Sposób zaś Protodjakonowa wymaga 6 rozwiązań, zanim w 7-em przekonamy się, że dochodzimy do kresu. Można też łatwo ułożyć i takie systemy, przy których ani sposób Protodjakonowa, ani sposób Doborzyńskiego nie doprowadzą do wyników ostatecznych wcześniej niż po bardzo wielu obliczeniach. W ten sposób widzimy, że:

Przybliżone sposoby rozwiązywania równań C_1 , C_2 , dając w wielu przypadkach zadań praktycznych szybko i dostatecznie dokładne rozwiązania, nie mogą jednak być uważane za dogodnie i możliwe do zastosowania we wszystkich przypadkach możliwych. Dają zatem pod względem praktycznym rozwiązanie połowiczne zagadnienia.

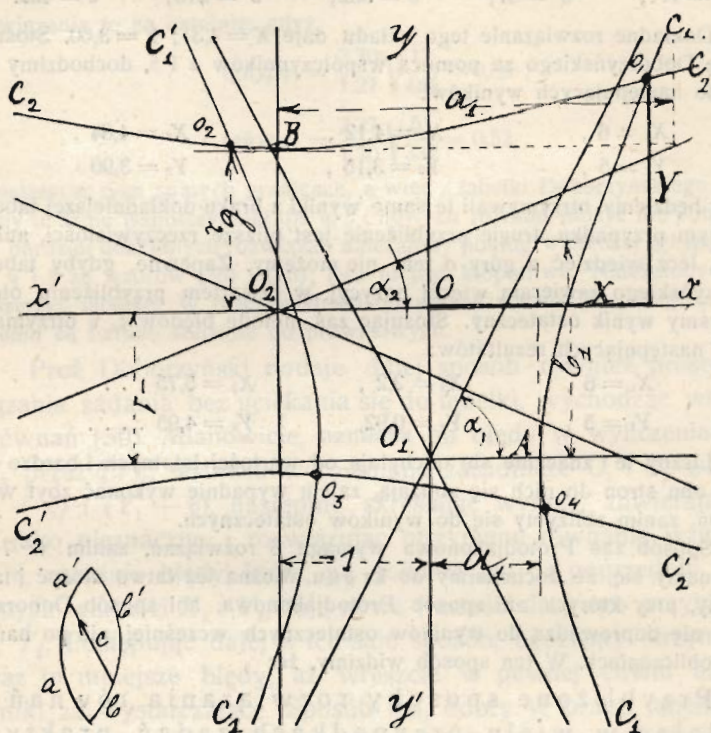
§ 4. Rozwiązanie geometryczne równań C_1 i C_2 dokładne. Równania:

$$\frac{X^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(Y+1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} = 1 \quad \dots \quad C_1,$$

$$\frac{Y^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(X+1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} = 1 \quad \dots \quad C_2,$$

geometrycznie interpretowane przedstawiają hiperbole, które w stosunku do danego systemu przekątnego nazywamy *zasadniczymi*.

Współrzędne środka pierwszej hiperboli są: $x = 0$, $y = -1$, drugiej $x = -1$, $y = 0$ (Rys. 2).



Rys. 2.

Półosie rzeczywiste są: dla C_1 . . . $O_1A = a_1 = \sqrt{\frac{c}{a}}$, (60)

„ C_2 . . . $O_2B = b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}}$, (61)

półosie urojone są: dla C_1 . . . $b_1 = \sqrt{\frac{c}{b}}$,

„ C_2 . . . $a_2 = \sqrt{\frac{c}{a'}}$,

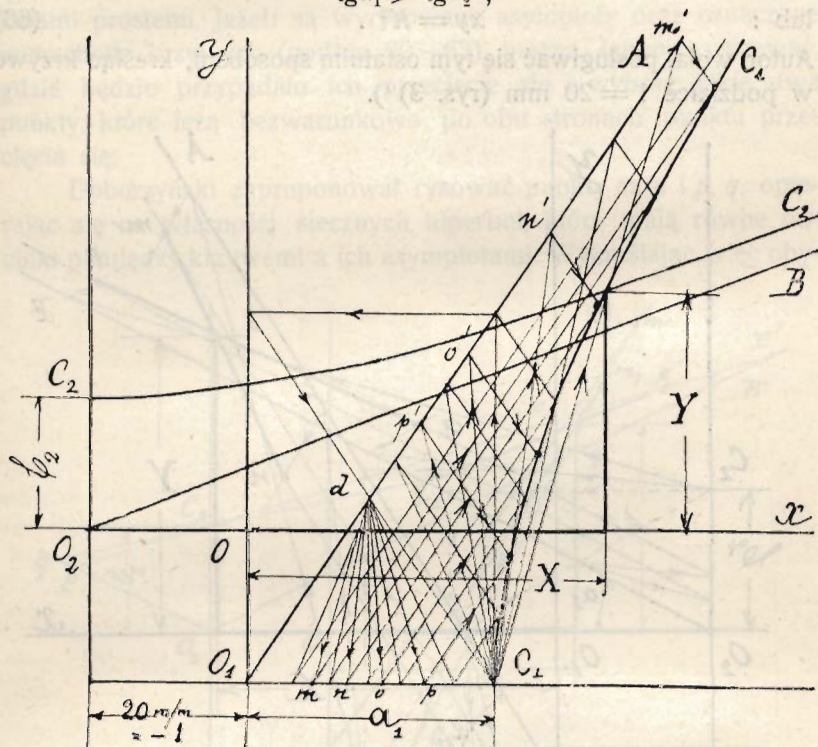
tangens kąta nachylenia asymptot do osi xx' są:

$$\text{dla } C_1 \quad \text{tg} \alpha_1 = \frac{b_1}{a_1} = \sqrt{\frac{a}{b}}, \quad (62)$$

$$\text{dla } C_2 \quad \dots \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{b_2}{a_2} = \sqrt{\frac{a'}{b'}}. \quad (63)$$

Warunkiem przecięcia się krzywych w pierwszej ćwiartce płaszczyzny (x, y) , czyli możliwości rozwiązania zadania przy wartościach X i Y dodatnich jednocześnie, jest przecięcie się w tejże ćwiartce asymptot, czyli:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 > \operatorname{tg} \alpha_2,$$



Rys. 3.

więc

$$\sqrt{\frac{a}{b}} > \sqrt{\frac{a'}{b'}},$$

lub:

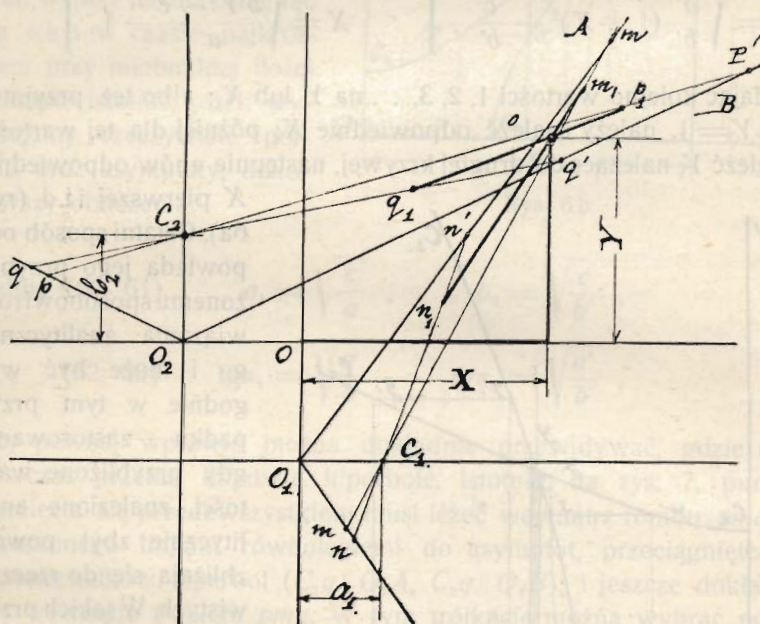
$$\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'} \quad (64)$$

Ponieważ jedynie dodatnie wartości X , Y mają sens, przeto po sprawdzeniu warunku (64) dla zadań praktycznych wystarcza wykreślać tylko te gałęzie krzywych, które znajdują się w pierwszej ćwiartce.

¹⁾ Porównaj § 1.

w takim miejscu, gdzie obydwie hiperbole są niemal wyprostowane. To zezwala uprościć rozwiązanie, gdy, zadawalniając się wynikiem mniej dokładnym, jednak (dla celów praktycznych zupełnie dostatecznej dokładności, określimy tylko po 2 punkty każdej krzywej, leżące z 2 stron ich przecięcia się, oraz połączymy je, przykładając do nich i wierzchołków hiperbol krzywki hiperboliczne. Jeszcze prościej 2 punkty m, n i p, q (rys. 4), połączyć linjami prostymi. Jeżeli są wyrysowane asymptoty oraz oznaczone wierzchołki krzywych (podług 60—63), można łatwo oszacować, gdzie będzie przypadają ich przecięcia się i wybrać takie dwa punkty, które leżą bezwarunkowo po obu stronach punktu przecięcia się.

Doborzyński zaproponował rysować punkty m, n i p, q , opierając się na własności siecznych hiperbol, które mają równe odcinki pomiędzy krzywymi a ich asymptotami. Wykreślając więc oby-



Rys. 5.

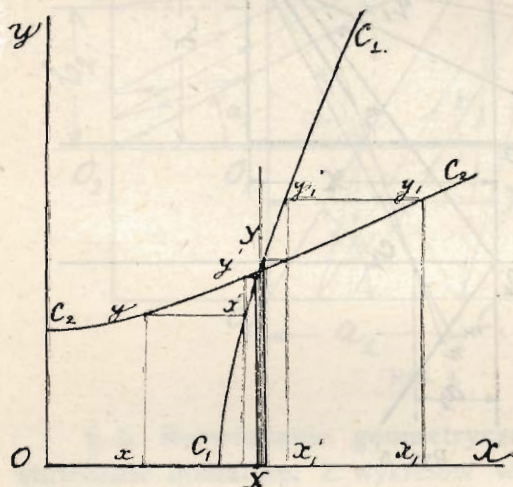
dwie asymptoty każdej krzywej (rys. 5) i prowadząc przez wierzchołki C_1 i C_2 po dwie sieczne mm' , nn' , pp' , qq' , odkładamy na nich $m'm_1 = mC_1$, $n'n_1 = nC_1$, oraz $p'p_1 = C_2p$, $q'q_1 = C_2q$. Punkty m_1 i n_1 leżą na krzywej, gdyż wierzchołek C_1 również należy do niej, tak samo

punkty p_1 i q_1 leżą na drugiej krzywej. Łącząc je prostymi m_1n_1 oraz p_1q_1 , znajdujemy współrzędne ich punktu przecięcia się X i Y . Bezsprzecznie, że sposób ten, wymagając minimum kreśleń, daje najszybciej rozwiązanie dostatecznie dokładne.

§ 6. Rozwiązania geometryczne równań C_1 i C_2 przybliżone były podane w Przeglądzie Górn.-Hutn. Są to sposoby zapomocą gotowych wykresów, dołączonych do pracy oryginalnej autora, sposoby zamiany systemów przekątnych przez normalne z wypuszczeniem bocznic b lub a' , wreszcie sposób określenia punktu przecięcia się hiperbol na oko. Prof. Protodjakonow, krytykując nasze sposoby przybliżone, radzi bezpośrednio obliczać współrzędne krzywych podług wzorów:

$$\left. \begin{aligned} X &= \sqrt{\frac{b}{a} (1 + Y)^2 + \frac{c}{a}}, \\ Y &= \sqrt{\frac{aX^2 - c}{b} - 1}, \end{aligned} \right\} \text{ lub } \left. \begin{aligned} Y &= \sqrt{\frac{a'}{b'} (1 + X)^2 + \frac{c}{b'}}, \\ X &= \sqrt{\frac{b'Y^2 - c}{a'} - 1}, \end{aligned} \right\} \quad (67)$$

nadając kolejno wartości 1, 2, 3, . . . na Y lub X ; albo też, przyjmując $Y=1$, należy znaleźć odpowiednie X ; później dla tej wartości znaleźć Y , należące do drugiej krzywej, następnie znów odpowiednie



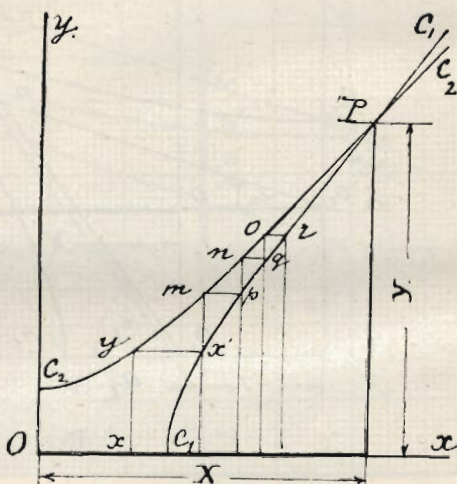
Rys. 6a.

X pierwszej i t.d. (rys. 6a). Ostatni sposób odpowiada jego przybliżonemu sposobowi rozwiązania analitycznego i może być wygodnie w tym przypadku zastosowany, gdy przybliżone wartości, znalezione analitycznie zbyt powoli zbliżają się do rzeczywistych. W takich przypadkach zwykle punkt przecięcia się leży stosunkowo daleko od początku współrzędnych,

i krzywe, przecinając się pod bardzo małym kątem, w sąsiedztwie swego punktu przecięcia są nader zbliżone do prostych.

Jeżeli, tworząc w ten sposób kolejne rozwiązania przybliżone, spostrzeżemy, że 3 punkty, należące do każdej krzywej, leżą niemal w linii prostej, można zaprzestać dalszego rozwiązania analitycznego i, przedłużając proste, łączące 2 ostatnie punkty (*no* i *qr*), (rys. 6 b) do ich przecięcia się, otrzymamy niebawem dostatecznie przybliżone wartości *X*, *Y*. Ich dokładność wszakże będzie niezbyt wielką, trudno bowiem określić na wykresie wspólny punkt dwu linii, przecinających się pod bardzo ostrym kątem.

Praktyka wszakże wskazuje, że zupełnie dobre dla zwykłych zadań praktycznych wyniki można osiągnąć na oko w czasie najkrótszym przy minimalnej ilości obliczeń. Istotnie, jeżeli wyrysujemy rzeczywiste półosie, oraz asymptoty, dokonawszy obliczenia:



Rys. 6 b.

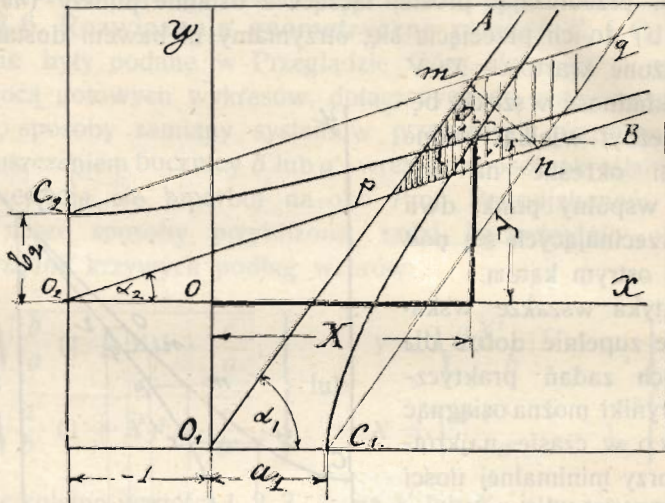
$$\text{podług (60, 61)} \quad a_1 = \sqrt{\frac{c}{a}}, \quad b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}} ,$$

$$, \quad (62, 63) \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{b}}, \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} ,$$

przy pewnej wprawie można dokładnie przewidywać, gdzie się wówczas przetną obydwie hiperbole. Istotnie, na rys. 7, punkt przecięcia się przedewszystkiem musi leżeć wewnątrz rombu *pmqn*, utworzonego liniami równoległymi do asymptot, przeciętnymi z wierzchołków hiperbol ($C_1q \parallel O_1A$, $C_2q \parallel O_2B$); i jeszcze dokładniej wewnątrz trójkąta *pmn*. W tym trójkącie można wybrać pole mniejsze (ograniczone linią przerywaną), wewnątrz którego można wybrać łatwo punkt, którego współrzędne będą się różniły od rzeczywistych zaledwie o kilka %.

Jeżeli obliczenia a_1 , b_2 , $\operatorname{tg} \alpha_1$, $\operatorname{tg} \alpha_2$ wykonamy za pomocą suwaka logarytmicznego, oraz wykresu dokonamy na papierze milimetrowym od ręki, to i wówczas omyłka zwykle nie przekracza

5% — 7% przytem czas rozwiązania nie zajmnie więcej niż 2—3 minuty. W praktycznych zadaniach przy określeniu stosunków X i Y dopuszczalne są i większe błędy, do 10%, tembardziej, że przy



Rys. 7.

dalszem wyliczaniu oporu ogólnego systemu przekątnego podług wzorów ((8)—(10)) § 1, błąd w większości wypadków staje się jeszcze mniejszym.

Dla przykładu przytaczamy dokładniejsze (rys. 8) oraz odrębne (rys. 9) rozwiązanie zadania: $a = 900$, $b = 100$, $a' = 100$, $b' = 200$, $c = 500$. Przytem obliczenie zapomocą suwaka logarytmicznego wyrazów:

$$a_1 = \sqrt{\frac{c}{a}} = \sqrt{\frac{500}{900}} = 0,745 ,$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{500}{200}} = 1,58 ,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{b}} = \sqrt{\frac{900}{100}} = 3 ,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \sqrt{\frac{100}{200}} = 0,71 ,$$

zajmuje 2 minuty.

Rysunek hiperbol zapomocą 2 punktów metodą $xy = k^2$, przy posługiwaniu się krzywkami hiperbolicznymi (rys. 8) daje rozwiązania: $X_t = 1,40$, $Y_t = 2,34$, oraz zajmuje 15 minut czasu.

Wykres hiperbol na oko zajmuje maksymalnie 1 minutę czasu, oraz daje rozwiązanie:

$$X = 1,3; \quad Y = 2,2.$$

Zatem: $X = \frac{1,3}{1,4} X_t = 0,93 X_t$ błąd $7\frac{0}{10}\%$,

$Y = \frac{2,2}{2,34} Y_t = 0,94 Y_t$ „ $6\frac{0}{10}\%$.

Określając podług pierwszych rezultatów opór ogólny, otrzymamy

z (10) § 1:
$$M_t = \frac{a' (1 + X)^2 + b (1 + Y)^2 + c}{(X + Y + 1)^2} =$$

$$= 100 \left(\frac{2,4}{4,74} \right)^2 + 100 \left(\frac{3,34}{4,74} \right)^2 + 500 \left(\frac{1}{4,74} \right)^2 = 96,2,$$

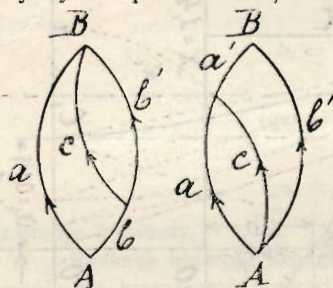
podług drugich rezultatów:

$$M = 100 \left(\frac{2,3}{4,5} \right)^2 + 100 \left(\frac{3,2}{4,5} \right)^2 + 500 \left(\frac{1}{4,5} \right)^2 = 100,3.$$

Zatem: $M = \frac{100,3}{96,2} M_t = 1,04 M_t$, błąd wynosi tylko $4\frac{0}{10}\%$.

Takie rozwiązanie w zadaniach praktycznych może być uważane za nadzwyczaj dokładne. Autorowi udawało się rozwiązywać w ten sposób na oko zadania z błędem zaledwie $0,5\frac{0}{10}\%$, co może być z praktycznego punktu widzenia uważane za rozwiązanie precyzyjne. Nie potrzeba sądzić, że dla uzyskania wyników dostatecznych należy mieć wielką wprawę w kreśleniu hiperbol na oko. Autor dawał na ćwiczeniach studentom Instytutu Górniczego w Petersburgu zadania, których ściśle rozwiązania były mu znane zawczasu, przyczem w ciągu niespełna 5 minut z 15 studentów dwaj, rozwiązując na oko, zrobili błąd $1\frac{0}{10}\%$, 9-ciu zrobiło błąd w granicach $3-6\frac{0}{10}\%$, 3-ech $7\frac{0}{10}\%$ i tylko 1 zrobił błąd $14\frac{0}{10}\%$ (w określeniu X, Y). Również w Akademii Górniczej w Krakowie, wykonywując po raz pierwszy zadanie, na 9-ciu studentów 1 zrobił błąd $1\frac{0}{10}\%$, rozwiązując zadanie w 3 minuty, 2-ch popęliło błąd w granicach $1-5\frac{0}{10}\%$, 3-ech zrobiło błąd w granicach $5-10\frac{0}{10}\%$ i 2-ch w granicach $10-19\frac{0}{10}\%$, rozwiązując zadanie w 10 minut.

Stąd też uważam, że rozwiązanie na oko jest jedynym sposobem, który winien być stosowany w praktyce, a któremu żaden inny sposób przybliżony nie może dorównać ani w czasie ani w dokładności.



Rys. 10.

Sposób ten jest o tyle doskonałym, że nawet systemy normalne typu przedstawionego na rys. 10 autor woli rozwiązywać podług metody systemów przekątnych, przyjmując $a' = 0$, albo $b = 0$, przyczem jedna z hiperbol zamienia się w linię prostą, z którą przecięcie się drugiej hiperboli może być jeszcze dokładniej określone na oko, aniżeli przecięcie

się 2 hiperbol. Ilość zaś ogólna logarytmowań, jaką należy wykonać w celu otrzymania oporu ogólnego, jest mniejsza, niż wtedy, gdy stosujemy metody właściwe systemom normalnym (patrz Przegląd Gór.-Hutn.).

§ 7. Opór ogólny. W § 1-szym podaliśmy 4 wzory oporu ogólnego. W rozwiązaniach nawet jak najdokładniejszych zawsze będą zawierały się pewne błędy, i owe 4 wyrażenia na opór wskutek tego dadzą zawsze 4 wyniki różne. Dla zmniejszenia błędu należy wziąć średnią arytmetyczną. Lecz, jak słusznie zwrócił uwagę Doborzyński, nie należy brać średniej arytmetycznej z 4-ch wyrażen, lecz tylko z 3-ch pierwszych; wyrażenie 4-te bowiem nie jest samoistnem i może być otrzymane przez odjęcie trzeciego wyrażenia od sumy dwóch pierwszych wyrażen. Stąd średnia arytmetyczna 4-ch wyrażen jest tylko średnią arytmetyczną dwu pierwszych wyrażen:

$$\frac{1}{4} (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) = \frac{1}{2} (M_1 + M_2) ,$$

gdyż:
$$M_4 = M_1 + M_2 - M_3 .$$

Zatem dla obliczeń najdokładniejszych należy stosować wzór Doborzyńskiego:

$$M = \frac{1}{3} (M_1 + M_2 + M_3) , \quad (68)$$

albo:

$$M = \frac{aX^2 + b'Y^2 + 2a'(1+X)^2 + 2b(1+Y)^2 + c}{3(X+Y+1)^2} . \quad (69)$$

Dla obliczeń zwykłych, gdy dopuszczalne są błędy 5—10%, wygodniej jest stosować wzór (1) albo (2) § 1, jako najprostsze:

$$M_1 = \frac{aX^2 + a'(1+X)^2}{(X+Y+1)^2} , \text{ lub: } M_2 = \frac{b'Y^2 + b(1+Y)^2}{(X+Y+1)^2} .$$

Wzorem tym dla łatwiejszego logarytmowania, należy nadać postać:

$$M_1 = a \left(\frac{X}{X+Y+1} \right)^2 + a' \left(\frac{X+1}{X+Y+1} \right)^2 , \quad (70)$$

$$M_2 = b' \left(\frac{Y}{X+Y+1} \right)^2 + b \left(\frac{Y+1}{X+Y+1} \right)^2 . \quad (71)$$

Jeżeli będziemy rozwiązywali systemy normalne typu przedstawio-

nego na rys. 10, to dla określenia oporu ogólnego będziemy stosowali też same wzory, które przy $a' = 0$, lub $b = 0$ przyjmują postać:

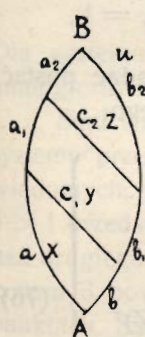
$$M_1 = a \left(\frac{X}{X+Y+1} \right)^2, \quad (72)$$

$$M_2 = b' \left(\frac{Y}{X+Y+1} \right)^2. \quad (73)$$

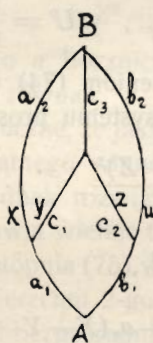
ROZDZIAŁ II.

SYSTEMY PRZEKĄTNE ZŁOŻONE.

§ 8. Rozwiązanie dokładne. Systemami złożonymi przekątnymi nazywamy takie systemy, które zawierają więcej niż jedną bocznice przekątną, lub też takie, w których bocznicę przekątną łączą bocznicę normalne różnych klas. Rys. 11 i 12 przedstawiają typy bardziej proste systemów przekątnych złożonych. Przykłady systemów bardziej



Rys. 11.



Rys. 12.

złożonych były podane w Nr. 3, 4 i 5 Przeglądu Górn.-Hutn. z roku 1909. W artykule Przeglądu Górn.-Hutn. z roku 1910: „Teoria prądów przekątnych“ dowodziliśmy, że nie ma ścisłych sposobów rozwiązania systemów złożonych, podobnych do tych, jakie istnieją dla systemów prostych.

Istotnie, wychodząc z założenia, że spadek ciśnienia pomiędzy 2-ma krańcowymi punktami systemu w kierunku dowolnym zostaje niezmiennym, jesteśmy

w stanie dla systemu rys. 11 ułożyć szereg wyrazów oporu ogólnego w zależności od stosunków X, Y, Z, U , — ilości powietrza płynących w bocznicach a, c_1, c_2, b_2 do ilości ogólnej powietrza przyjętej za 1:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= a(X)^2 + a_1(X+Y)^2 + a_2(X+Y+Z)^2, \\ M_2 &= b(Y+Z+U)^2 + b_1(Z+U)^2 + b_2(U)^2, \\ M_3 &= b(Y+Z+U)^2 + c_1(Y)^2 + a_1(X+Y)^2 + \\ &\quad + a_2(X+Y+Z)^2, \\ M_4 &= b(Y+Z+U)^2 + b_1(Z+U)^2 + c_2Z^2 + \\ &\quad + a_2(X+Y+Z)^2. \end{aligned} \right\} \quad (74)$$

Ilość takich wyrażeń równa się ilości prądów niezależnych, na które się rozdziela prąd główny, to znaczy $(n + 2)$, gdzie n jest liczbą bocznic przekątnych. Dla systemu prostego przekątnego o 1 bocznicy przekątnej mieliśmy 3 wyrażenia niezależne (8, 9, 10); dla systemu o 2 bocznicach przekątnych ułożyliśmy 4 wyrażenia, dla 3 bocznic przekątnych ułożylibyśmy 5 wyrażeń i t. d. Związek pomiędzy stosunkami $X, Y, Z \dots$ określa się warunkiem:

$$X + Y + Z + U + \dots + W = 1. \quad (75)$$

Tych stosunków oczywiście może być tyle, ile może być ułożonych wyrażeń (74). Właściwie jednak niewiadomych jest o jedność mniej, gdyż ostatnia jest zawsze uzupełnieniem sumy wszystkich poprzednich do 1. Dzieliąc przeto wszystkie stosunki przez jeden z nich, np. w rozważanym przypadku przez U , możemy zastąpić stosunki X, Y, Z, U przez:

$$X' = \frac{X}{U}, \quad Y' = \frac{Y}{U}, \quad Z' = \frac{Z}{U}, \quad U' = \frac{U}{U} = 1,$$

oraz, odrzucając znaczki, możemy wyrażeniom (74) nadać postać analogiczną do wyrażeń (8), (9) i (10) systemu prostego:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{aX^2 + a_1(X + Y)^2 + a_2(X + Y + Z)^2}{(X + Y + Z + 1)^2}, \\ M_2 &= \frac{b(Y + Z + 1)^2 + b_1(Z + 1)^2 + b_2}{(X + Y + Z + 1)^2}, \\ M_3 &= \frac{b(Y + Z + 1)^2 + c_1Y^2 + a_1(X + Y)^2 + a_2(X + Y + Z)^2}{(X + Y + Z + 1)^2}, \\ M_4 &= \frac{b(Y + Z + 1)^2 + b_1(Z + 1)^2 + c_2Z^2 + a_2(X + Y + Z)^2}{(X + Y + Z + 1)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (76)$$

W tych wyrażeniach ilość niewiadomych jest $(n + 1)$, gdzie n jest ilością bocznic przekątnych. Dla systemu prostego przekątnego mieliśmy 2 niewiadome; dla systemu o 2 bocznicach przekątnych mamy 3 niewiadome, dla 3 bocznic mieliśmy 4 niewiadome i t. d.

Związek tych niewiadomych stosunków z danymi $a, a_1, a_2 \dots$ może być ustalonym w ten sam sposób, jaki stosowaliśmy w systemie prostym przekątnym, wychodząc z założenia, że w zamkniętym wielokącie algebraiczna suma spadków ciśnienia równa się zeru. Takich zamkniętych wielokątów w każdym systemie może być tyle,

ile jest niewiadomych stosunków. Stąd wynika, że dla rozwiązania wszelkiego systemu przekątnego można zawsze ułożyć niezbędną ilość równań na niewiadome liczby $X, Y, \dots$; układ tych równań winien dać rozwiązanie ścisłe. W systemie prostym przekątnym takich wielokątów, na które on się rozdziela boczną przekątną, jest 2, Akl i Bkl (rys. 1), dla których algebraiczna suma spadków ciśnień daje lewe strony równań hiperbol zasadniczych:

$$\begin{aligned} aX^2 - c - b(Y+1)^2 &= 0, \quad \text{lub} \quad aX^2 - b(Y+1)^2 = c, \\ b'Y^2 - c - a'(X+1)^2 &= 0, \quad ,, \quad b'Y^2 - a'(X+1)^2 = c. \end{aligned}$$

Rozwiązanie tych równań daje ścisłe wartości liczb niewiadomych X, Y . Dla systemu o 2 bocznicach przekątnych z 3 wielokątów wyprowadzamy w ten sam sposób 3 równania:

$$\left. \begin{aligned} aX^2 - b(Y+Z+1)^2 - c_1Y^2 &= 0, \\ c_1Y^2 + a_1(X+Y)^2 - c_2Z^2 - b_1(Z+1)^2 &= 0, \\ c_2Z^2 + a_2(X+Y+Z)^2 - b_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (75)$$

Dla systemu o n bocznicach przekątnych ułożylibyśmy $(n+1)$ analogicznych równań.

Stąd widoczne, że jakkolwiek teoretycznie rozwiązanie każdego systemu przekątnego winno dawać ścisłe wartości stosunków niewiadomych, jednak rozwiązanie równań typu (75) dla przypadków $n > 1$ przedstawia wielkie trudności; gdy bowiem $n=2$, układ równań drugiego stopnia (75) w interpretacji geometrycznej przedstawia system 3 powierzchni 2-go stopnia, przecinających się wogóle w 8 punktach. Stąd bezpośrednie rozwiązanie równań (75) doprowadza do równania $2^{(n+1)} = 2^3 = 8$ -go stopnia, lub też do odszukania współrzędnych punktów przecięcia się 3 powierzchni 2-go stopnia w oktancie dodatnim. I jedno i drugie jest zbyt złożone i niemożliwe w zadaniach praktycznych. Przy większej ilości bocznic przekątnych dochodzimy do rozwiązania równań coraz to wyższego stopnia. Tak więc, jeśli $n=3$, rozwiązanie równań 2-go stopnia doprowadza do rozwiązania równania $2^{n+1} = 2^4 = 16$ -go stopnia, geometryczna zaś interpretacja w systemie współrzędnych Kartezjusza staje się niemożliwością.

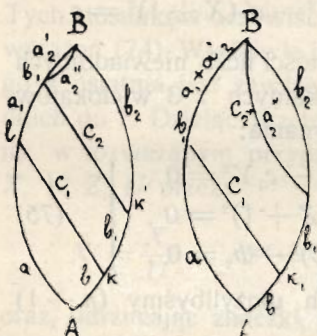
Z tego wynika, iż dla rozwiązania systemów przekątnych, bardziej złożonych niż system prosty przekątny, nie istnieje wogóle metoda ścisła ani analityczna, ani geometryczna, i należy się uciekać do sposobów przybliżonych.

§ 3. Rozwiązanie przybliżone systemów złożonych przekątnych metodą rozszczepiania prądów podług Protodjakonowa¹⁾. Przypuśćmy, że mamy system o 2 bocznicach przekątnych (rys. 11) oraz, że powietrze w bocznicach a , c_1 , c_2 i b_2 dzieli się w stosunku X , Y , Z i U tak, iż:

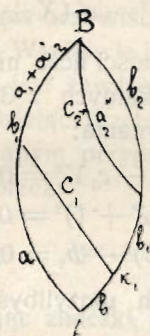
$$X + Y + Z + U = 1.$$

Zastąpmy bocznicę a_2 przez 2 równoległe a'_2 i a''_2 (rys. 13) w ten sposób, iżby powietrze podzieliło się na nie w ilościach

równych ilościom płynącym w bocznicach a_1 i c_2 . Wówczas wartości a'_2 i a''_2 , jeżeli wszystkie opory są wyrażone w miurgach, zostaną określone z równań:



Rys. 13.



Rys. 14.

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{a_2}} &= \frac{1}{\sqrt{a'_2}} + \frac{1}{\sqrt{a''_2}}, \\ \frac{a'_2}{a''_2} &= \left(\frac{Z}{X+Y} \right)^2 \end{aligned} \right\}^2 \quad (76)$$

lub, jeżeli opory wyrażone są w otworach równoznacznych:

$$\left. \begin{aligned} a_2 &= a'_2 + a''_2, \\ \frac{a'_2}{a''_2} &= \frac{X+Y}{Z} \end{aligned} \right\}^3 \quad (77)$$

¹⁾ Protodjakonow „Kurs przewietrzenia rudników“, Jekaterynosław, 1911, str. 48. Wdając się w polemikę z autorem z powodu wypowiedzianego poglądu nierozwiązalności systemów złożonych, Protodjakonow przedstawia swoją metodę, którą stosował niejednokrotnie z wynikiem zupełnie pomyślnym. Oświadczenie to jednak nie obala naszego twierdzenia, które miało na oku metody ściśle podług wzorów gotowych tak, jak to zrobiliśmy dla systemów prostych przekątnych. Co się zaś tyczy metody przybliżonej, to stosowaliśmy ją w innej postaci z wynikiem również pomyślnym (patrz § 10). Podajemy tutaj metodę Protodjakonowa w ujęciu bardziej systematycznym.

²⁾ Przypomnijmy, że opór (wyrażony w miurgach) elementów równoleglełączonych jest $M = \frac{1}{\left(\sum \frac{1}{\sqrt{a_i}} \right)^2} \cdot (1)$, skąd $\frac{1}{\sqrt{M}} = \sum \frac{1}{\sqrt{a_i}}$; powietrze zaś

dzieli się na bocznicę równoległą w stosunku odwrotnym do pierwiastków drugiego stopnia z ich oporów.

³⁾ Przypomnijmy, że otworem równoznacznym przewodu powietrznego nazywa się taki otwór o cienkich krawędziach, przez który przy

Jeżeli w bocznicę a''_2 przepływa także sama ilość powietrza, jaka płynie w c_2 , w bocznicę zaś a'_2 także sama, jaka w a_1 , to możemy w punkcie l_1 rozłączyć bocznicę $(c_2 + a''_2)$ i $(a_1 + a'_2)$, czyli zastąpić bocznicę przekątną c_2 przez bocznicę normalną $(c_2 + a''_2)$. Otrzymamy więc system (rys. 14) prosty przekątny, w którym, zwykle oznaczana przez b' , bocznicę składa się z b_1 i systemu podwójnego normalnego $(c_2 + a''_2, b_2)$, inne zaś bocznicę są: $a, b, a_1 + a'_2 (= a')$, oraz przekątna c_1 . Rozwiązanie takiego systemu jest znane i, jak wiemy, jest prostsze od wszelkiej zamiany go na system normalny. Wszakże można dalej według tejże metody rozszcześcić bocznicę $a_1 + a'_2 = a_3$ na 2 normalne a'_3 i a''_3 (rys. 15) tak, iżby spełniały one warunek:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{a_3}} &= \frac{1}{\sqrt{a'_3}} + \frac{1}{\sqrt{a''_3}}, \\ \frac{a'_3}{a''_3} &= \frac{Y^2}{X^2}, \end{aligned} \right\} \quad (78)$$

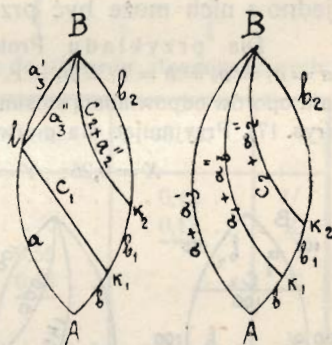
jeżeli wyrażamy opory w miurgach, lub:

$$\left. \begin{aligned} a_3 &= a'_3 + a''_3, \\ \frac{a'_3}{a''_3} &= \frac{X}{Y}, \end{aligned} \right\} \quad (79)$$

jeżeli oznaczamy opory w otworach równoznacznych.

Rozłączając następnie bocznicę w punkcie l , zamienimy przeto cały pierwotny system przekątny złożony na układ normalny (rys. 16), składający się z bocznic normalnych 3 klas, którego rozwiązanie nie nastęca żadnych trudności.

Jeżeli teraz w systemie rys. 16 określimy rozdział powietrza w bocznicach wszystkich klas, co łatwo zrobić, wychodząc z otworów równoznacznych bocznic jednej klasy, wówczas znalezione



Rys. 15.

Rys. 16.

tem samym ciśnieniu h mm słupa wodnego przepływa też sama ilość m^3 powietrza — q , co i w danym przewodniku. Wielkość otworu równoznacznego w m^2 jest $a = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h}} = \frac{0,38 S \sqrt{S}}{\sqrt{P L \alpha}}$. Otwór równoznaczny kilku bocznic równolegle złączonych równa się sumie otworów równoznacznych tychże bocznic: $A = \sum a \dots (2)$, powietrze zaś dzieli się na bocznicę równolegle proporcjonalnie do ich otworów równoznacznych.

stosunki nie będą te, które były przyjęte a priori. Niech będą te stosunki: X', Y', Z', U' , które są połączone warunkiem:

$$X' + Y' + Z' + U' = 1.$$

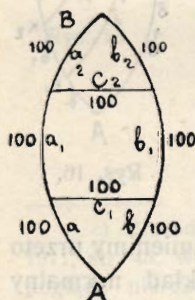
Wstawiając te wartości w wyrazy (76) i (78), lub (77) i (79), to znaczy, powtarzając całe obliczenie na nowo, otrzymamy nowe wartości w drugim przybliżeniu: X'', Y'', Z'', U'' . Powtarzając takie same obliczenia kilka razy, otrzymamy szereg przybliżonych wartości stosunków $X, Y \dots$

Porównyując między sobą kolejno otrzymane wartości $X, Y, \dots$ spostrzeżemy, iż, różniąc się początkowo znacznie jedna od drugiej, następnie się zbliżają stopniowo do pewnej granicy, aż wreszcie różnice w rozwiązaniach kolejnych będą tak małe, że jedno z nich może być przyjętem za ostateczne.

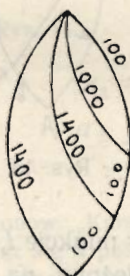
Dla przykładu Protodjakonow rozwiązuje system, w którym $a = a_1 = a_2 = b = b_1 = b_2 = c_1 = c_2 = 100$ miurgów. Takiemu ustosunkowaniu oporów odpowiadają stosunki rzeczywiste $X = 0,5; Y = 0; Z = 0; U = 0,5$ (rys. 17). Przyjmując dla pierwszego przybliżenia:

$$X = 0,25; Y = 0,25; Z = 0,25; U = 0,25,$$

układamy równania (76):



Rys. 17.



Rys. 18.

$$\left\{ \frac{1}{\sqrt{100}} + \frac{1}{\sqrt{a'_2}} + \frac{1}{\sqrt{a''_2}} \dots \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \frac{a'_2}{a''_2} = \left(\frac{Z}{X+Y} \right)^2 = \left(\frac{0,25}{0,50} \right)^2 = \frac{1}{4} \dots \right. \quad (2)$$

z których określamy:

$$a'_2 = 225, \quad a''_2 = 900.$$

Stąd, w systemie rys. 14:

$$a_3 = a_1 + a'_2 = 100 + 225 = 325,$$

$$c_2 + a''_2 = 100 + 900 = 1000.$$

Następnie układamy równania (78):

$$\frac{1}{\sqrt{325}} = \frac{1}{\sqrt{a'_3}} + \frac{1}{\sqrt{a''_3}} \dots \quad (1)$$

$$\frac{a'_3}{a''_3} = \left(\frac{Y}{X} \right)^2 = \left(\frac{0,25}{0,25} \right)^2 = 1 \dots \quad (2)$$

skąd:

$$a'_3 = a''_3 = 1300,$$

oraz:

$$a + a'_3 = 100 + 1300 = 1400,$$

$$c_1 + a''_3 = 100 + 1300 = 1400.$$

System przekształcony ma postać, uwidocznioną na rys. 18.

Rozwiązanie tego systemu ujęte jest w następującej tabelce¹⁾:

	BOCZNICA	Cały system	Bocznica I kl.		Bocznica II kl.		Bocznica III kl.	
		Miurgi M.	Otw. równ. A	Miurg. M	A.	M.	A.	M.
1	b_2	..	..	..	..	..	$1,2^2 \leftarrow$	100
2	$c_2 + a''_2$	..	..	..	..	..	$0,38 \leftarrow$	1000
3	$(c_2 + a''_2, b_2)$	..	..	..	..	$58^2 \leftarrow$	$1,58$	
4	b_1	..	..	..	..	100		
5	$b_1 + (c_2 + a''_2, b_2)$	..	..	..	$0,95 \leftarrow$	158		
6	$c_1 + a''_3$	..	..	..	$0,32 \leftarrow$	1400		
7	$(c_1 + a''_3, [b_1 + (c_2 + a''_2, b_2)])$	..	..	$88 \leftarrow$	$1,27$			
8	b	..	..	100				
9	Prawa bocznica I klasy	..	$0,875 \leftarrow$	188				
10	$a + a'_3$	..	$0,322 \leftarrow$	1400				
11	Cały system	$101 \leftarrow$	$1,197$					

Podział powietrza zachodzi w stosunku do otworów równoznacznych:

	Bocznice	I kl.	II kl.	III kl.	
1	b_2	..	..	$0,42$. .	U
2	c_2	..	..	$0,13$. .	Z
3	b_1	..	$0,55$		
4	c_1	..	$0,18$. .		Y
5	b	$0,73$			
6	a	$0,27$			X
		$1,00$			

¹⁾ Przypomnijmy, że opór elementów w szereg połączonych wyrażony w miurgach równa się sumie ich oporów: $M = \Sigma \mu$. . (3). Wielkość zaś otworu równoznacznego elementów kolejno złączonych jest: $A = \frac{1}{\sqrt{\Sigma \frac{1}{a^2}}}$. . . (4),

lub $\frac{1}{A^2} = \Sigma \frac{1}{a^2}$. Żeby uniknąć skomplikowanych obliczeń w otworach równoznacznych przy połączeniach w szereg podług wzoru (4), a w miurgach przy połączeniach równoległych podług wzoru (1) (patrz not. 2 na str. 35); wszystkie elementa kolejne wyrażamy zawsze w miurgach, równoległe zaś w otworach równoznacznych; wtedy opór wspólny w 1-szym przypadku, lub otwór wspólny w 2-gim przypadku, zawsze znajdujemy przez proste sumowanie liczb elementów poszczególnych. W razie potrzeby przejście od miurgów do otworu równoznacznego, lub odwrotnie, łatwo dokonywa się na zasadzie związku: $a = \frac{12}{\sqrt{\mu}}$. . (5), lub $\mu = \frac{144}{a^2}$. . (6).

²⁾ Strzałka, $\leftarrow$, prowadząca od liczb umieszczonych w kolumnach M (miurgów) do liczb umieszczonych w kolumnach A (otworów równoznac-

Wstawiając znalezione wartości X , Y , Z , U ponownie w równania 76 i 78 i powtarzając obliczenia kilka razy, otrzymamy szereg rozwiązań przybliżonych, ułożonych w następującej tabelce:

	X	Y	Z	U
1-sze przybliżenie	0,27	0,18	0,13	0,42
2-gie „	0,33	0,16	0,09	0,42
3-cie „	0,37	0,13	0,07	0,43
4-te „	0,40	0,12	0,06	0,44
5-te „	0,41	0,10	0,04	0,45
6-te „	0,42	0,09	0,04	0,45
rzeczywiste . . .	0,50	0,00	0,00	0,50

Opór ogólny możemy określić podług pierwszego wzoru z grupy (74):

$$1\text{-sze przybl.: } M_1 = 100 (0,27)^2 + 100 (0,45)^2 + 100 (0,58)^2 = 62,$$

$$2\text{-gie } „ \quad M_1 = 100 (0,33)^2 + 100 (0,49)^2 + 100 (0,58)^2 = 75,$$

$$3\text{-cie } „ \quad M_1 = 100 (0,37)^2 + 100 (0,50)^2 + 100 (0,57)^2 = 76,$$

$$4\text{-te } „ \quad M_1 = 100 (0,40)^2 + 100 (0,52)^2 + 100 (0,58)^2 = 77,$$

$$5\text{-te } „ \quad M_1 = 100 (0,41)^2 + 100 (0,51)^2 + 100 (0,55)^2 = 73,$$

$$6\text{-te } „ \quad M_1 = 100 (0,42)^2 + 100 (0,51)^2 + 100 (0,55)^2 = 74.$$

$$\text{Rzeczywiste } M = \frac{100 + 100 + 100}{4} = 75.$$

„Rozpatrując tabelkę rezultatów“ wyciąga wniosek prof. Protodjakonow, „widzimy, że ilości powietrza w bocznicach przekątnych stopniowo zmniejszają się, a w bocznicach bocznych wyrównywiają się, t. j. spostrzega się stopniowe zbliżanie się do rozdziału rzeczywistego. W tym umyślnie dobranym a nadzwyczaj niewygodnym dla danej metody przypadku, któryśmy obrali dla przykładu, przybliżenie postępuje powoli, i wyniki znacznie się różnią od rzeczywistych. W zwykłych zaś wypadkach takie trudne warunki nie mają miejsca, i przybliżenie dostateczne osiąga się już po pierwszym, drugim wyliczeniu“¹⁾. O ile można się zgodzić, że czasami, oraz być może nawet często sposób ten dość szybko doprowadza do wyników ostatecznych, o tyle trudno zgodzić się z drugą częścią wniosku prof. Protodjakonowa, że rozwiązanie zwykle otrzymuje się po pierwszym, drugim obliczeniu. Nietylko takie wypadki często spotykają się w praktyce, gdy w bocznicach przekątnych ilość powietrza jest bliska 0, lecz nawet czasami nie można z szematu systemu wnosić, w jakim kierunku płynie w niej powietrze, gdyż to zależy od oporów bocznic poszczególnych

nych) oznacza, że te ostatnie zostały określone z pierwszych podług wzoru (5). Strzałki zaś, prowadzące od liczb kolumn A ku liczbom kolumn M , wskazują, że te ostatnie zostały określone z pierwszych podług wzorów (6).

¹⁾ Podkreślenie nasze.

w ugrupowaniach złożonych. Przykład z kopalni „Flora“ przytoczony w jednym z dalszych rozdziałów służy jako wymowne potwierdzenie tego poglądu. Gdyby się okazało, że stosunki oporów bocznie poszczególnych są takie, iż powietrze w bocznej przekątnej płynie w kierunku przeciwnym do przypuszczalnego, wówczas kolejne rozwiązania przybliżone nie będą się zbliżały do rzeczywistych, co może być spostrzeżone nie wcześniej niż w 3-iem rozwiązaniu. Stąd w każdym razie należy wykonać najmniej trzy obliczenia.

Celem unaocznienia podobnej możliwości rozwiążmy przykład mniej sztucznie dobrany.

Niech będą opory w miurkach (rys. 19):

$$\begin{aligned} a &= 173, & b &= 80, & c_1 &= 160, \\ a_1 &= 30, & b_1 &= 435, & c_2 &= 124. \\ a_2 &= 55, & b_2 &= 190, \end{aligned}$$

W jakim kierunku będą płynęły prądy w bocznych przekątnych? Najnaturalniej przypuścić, że prądy będą płynęły w kierunku strzałek.

Założmy dla 1-go rozwiązania:

$$X = 0,25, \quad Y = 0,25, \quad Z = 0,25. \quad U = 0,25.$$

Rozwiążmy zadanie w otworach równoznacznych:

Podł. (77).

$$\begin{cases} a_{20} = a'_{20} + a''_{20} = \frac{12}{\sqrt{55}} = 1,62^1), \\ \frac{a'_{20}}{a''_{20}} = \frac{X+Y}{Z} = \frac{0,5}{0,25} = 2, \end{cases}$$

Skąd:

$$a'_{20} = 1,08 \rightarrow 124 \text{ miurgów}$$

$$a''_{20} = 0,54 \rightarrow 496 \text{ „}$$

W systemie przekształconym (rys. 20):

$$a' = a_1 + a'_2 = 30 + 124 = 154 \text{ miurg.}$$

$$c' = c_2 + a''_2 = 124 + 496 = 620$$

$$b_2 = 190$$

$$(b_2, c') = 79 \text{ miurgów}$$

$$\text{dodając} \quad \frac{b_1}{b'} = \frac{435}{514}$$

Otrzymany system przekątny (rys. 21), w którym

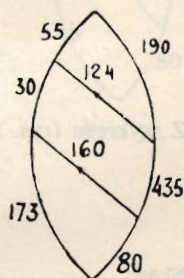
$$a = 173,$$

$$a' = 154,$$

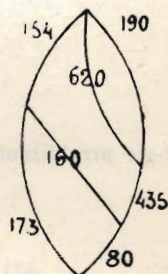
$$b = 80,$$

$$b' = 514,$$

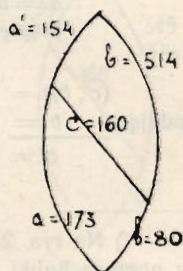
$$c = 160,$$



Rys. 19.



Rys. 20.



Rys. 21.

¹⁾ Znaczek σ oznacza otwór równoznaczny.

rozwiążmy podług prawideł rozwiązania systemu prostego:

Określamy więc: $a_1 = \sqrt{\frac{c}{a}} = \sqrt{\frac{160}{173}} = 0,96,$

$$b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{160}{514}} = 0,56,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{b}} = \sqrt{\frac{173}{80}} = 1,47,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \sqrt{\frac{154}{514}} = 0,55.$$

Z wykresu (rys. 24) znajdujemy:

$$X' = 2,15^1),$$

$$Y' = 1,8.$$

Skąd: $X_1 = \frac{X'}{X' + Y' + 1} = \frac{2,15}{4,95} = 0,43,$

$$Y_1 = \frac{1}{X' + Y' + 1} = \frac{1}{4,95} = 0,20,$$

$$Z_1 = (1 - X + Y) \frac{c' o}{c' o + b_2 o} = 0,37 \frac{0,48}{1,35} = 0,13,$$

$$U_1 = (1 - X - Y - Z) = 0,24.$$

2-gie przybliżenie:

$$\begin{cases} a'_{20} + a''_{20} = \frac{12}{\sqrt{55}} = 1,62, \\ \frac{a'_{20}}{a''_{20}} = \frac{X_1 + Y_1}{Z_1} = \frac{0,63}{0,13} = 4,85, \end{cases}$$

skąd:

$$a'_{20} = 1,34 \longrightarrow = 80 \text{ miurg.}$$

$$a''_{20} = 0,28 \longrightarrow = 1800 \text{ „}$$

$$a' = a_1 + a'_2 = 30 + 80 = 110,$$

$$c' = c_2 + a'' = 124 + 1800 = 1924 \text{ m.} \rightarrow c' o = 0,27,$$

$$b_2 o = 0,87,$$

$$(c', b_2) = 110 \text{ m.} \leftarrow 1,14,$$

dodając $\frac{b_1}{b'} = \frac{435}{545}.$

¹⁾ Na rys. 24 podane jest bardziej dokładne rozwiązanie wykonane za pomocą linijki i cyrkla; liczby, załączone zaś w tekście otrzymano przez rozwiązanie na oko. Dlatego są one nieco mniejsze od rzeczywistych.

Otrzymaliśmy system przekątny (rys. 22):

$$a = 173, \quad b = 80, \quad c = 160.$$

$$a' = 110, \quad b' = 545,$$

W tym systemie zmieniła się tylko hiperbola C_2 .

Rysujemy ją na tym samym wykresie (rys. 24):

$$b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{110}{545}} = 0,54,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \sqrt{\frac{110}{545}} = 0,45.$$

Z wykresu znajdujemy:

$$X'_2 = 1,95, \quad Y'_2 = 1,45^1).$$

Skąd, jak wyżej:

$$X_2 = 0,44; \quad Y_2 = 0,23;$$

$$Z_2 = 0,08; \quad U_2 = 0,25.$$

3-cie przybliżenie:

$$\begin{cases} a'_{20} + a''_{20} = \frac{12}{\sqrt{55}} = 1,62, \\ \frac{a'_{20}}{a''_{20}} = \frac{X_2 + Z_2}{Z_2} = \frac{0,67}{0,08} = 8,2, \end{cases}$$

Skąd:

$$a'_{20} = 1,44 \rightarrow 69 \text{ miurg.},$$

$$a''_{20} = 0,176 \rightarrow 4630 \text{ „}$$

$$a' = a_1 + a'_2 = 30 + 69 = 99,$$

$$c' = c_2 + a''_2 = 124 + 4630 = 4754 \rightarrow c'_0 = 0,174$$

$$b_{20} = \frac{0,87}{1,04}$$

$$\begin{array}{rcl} (b_2, c') = & 134 & \leftarrow 1,04 \\ \text{dodając } \underline{b_1} = & 435 & \\ b'' = & 569. & \end{array}$$

Otrzymaliśmy system przekątny (rys. 23):

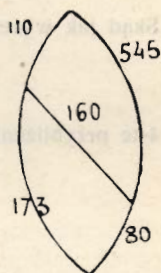
$$a = 173, \quad b = 80, \quad c = 160.$$

$$a' = 99, \quad b' = 569,$$

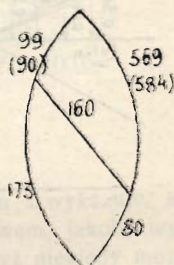
Rysujemy na tymże wykresie (rys. 24) hyperbolę C_2 :

$$b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{160}{569}} = 0,53,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \sqrt{\frac{99}{569}} = 0,42.$$



Rys. 22.



Rys. 23.

¹⁾ Patrz uwagę na str. 40.

Z wykresu znajdujemy:

$$X_3 = 1,85,$$

$$Y_3 = 1,30.$$

Skąd jak wyżej określimy:

$$X_3 = 0,240;$$

$$Y_3 = 0,240;$$

$$Z_3 = 0,054;$$

$$U_3 = 0,260.$$

4-te przybliżenie:

$$\begin{cases} a'_{20} + a''_{20} = \frac{12}{\sqrt{55}} = 1,62, \\ \frac{a'_{20}}{a''_{20}} = \frac{X_3 + Y_3}{Z_3} = \frac{0,686}{0,054} = 1,37. \end{cases}$$

$$a'_{20} = 1,51 \rightarrow = 60 \text{ miurg.},$$

$$a''_{20} = 0,11 \rightarrow = 11880 \text{ „}$$

$$a' = a_1 + a'_2 = 30 + 60 = 90,$$

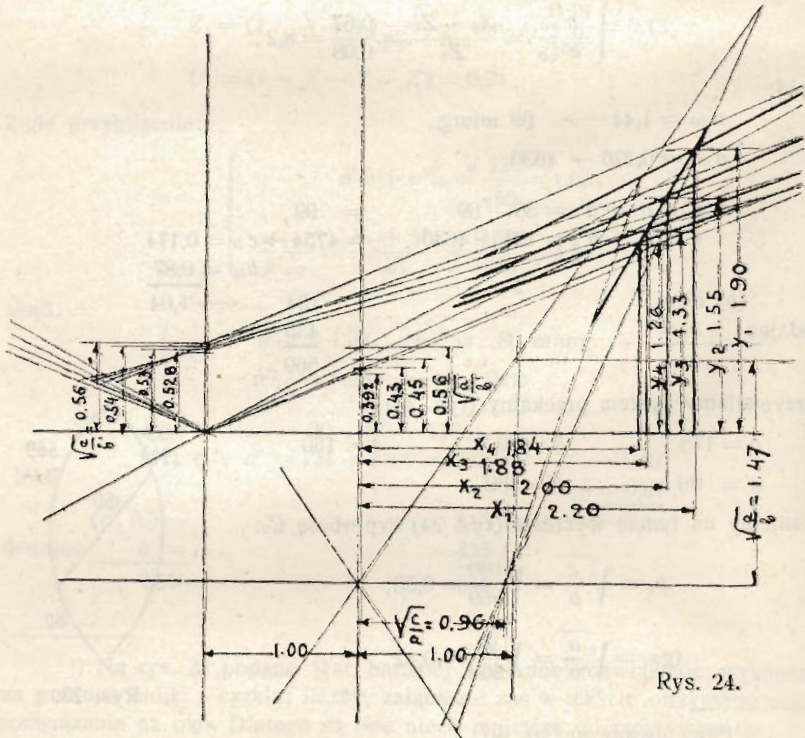
$$c' = c_2 + a''_2 = 124 + 11880 = 12004 \rightarrow c'_0 = 0,119$$

$$b_{20} = 0,87$$

$$\leftarrow = 0,98$$

$$\begin{array}{l} (c', b_2) = \\ \text{dodając } b_1 = \\ \hline b' = \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 149 \\ 435 \\ \hline 584. \end{array}$$



Rys. 24.

Na tym wykresie (rys. 24) rysujemy hyperbolę C_2 :

$$b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{160}{584}} = 0,528,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \sqrt{\frac{90}{584}} = 0,592.$$

I znajdujemy:

$$X'_4 = 1,80, \quad Y'_4 = 1,22.$$

Skąd:

$$X_4 = 0,448; \quad Y_4 = 0,248;$$

$$Z_4 = 0,037; \quad U_4 = 0,267.$$

Na tem rozwiązaniu możemy się zatrzymać.

Opór ogólny określamy podług wzorów (8, 9, 10, § 1) systemu prostego przekątnego:

$$M_1 = \frac{aX'^2_4 + a'(X'_4 + 1)^2}{(X'_4 + Y'_4 + 1)^2} = 173 \left(\frac{1,80}{4,02} \right)^2 + 90 \left(\frac{2,80}{4,02} \right)^2 = 78,3,$$

$$M_2 = \frac{b'Y'^2_4 + b(Y'_4 + 1)^2}{(X'_4 + Y'_4 + 1)^2} = 584 \left(\frac{1,22}{4,02} \right)^2 + 80 \left(\frac{2,22}{4,02} \right)^2 = 78,2,$$

$$M_3 = \frac{a'(X'_4 + 1)^2 + b(Y'_4 + 1)^2 + c}{(X'_4 + Y'_4 + 1)^2} = 90 \left(\frac{2,80}{4,02} \right)^2 + 80 \left(\frac{2,22}{4,02} \right)^2 + \frac{160}{(4,02)^2} = 77,9.$$

$$M = \frac{1}{3} (M_1 + M_2 + M_3) = 78,1.$$

Możemy również znaleźć opór ogólny podług jednego ze wzorów (74):

$$M_1 = aX^2 + a_1(X + Y)^2 + a_2(X + Y + Z)^2 = \\ = 173(0,448)^2 + 30(0,696)^2 + 55(0,733)^2 = 83,7,$$

$$M_2 = b(Y + Z + U)^2 + b_1(Z + U)^2 + b_2U^2 = \\ = 80(0,552)^2 + 435(0,304)^2 + 190(0,267)^2 = 78,2,$$

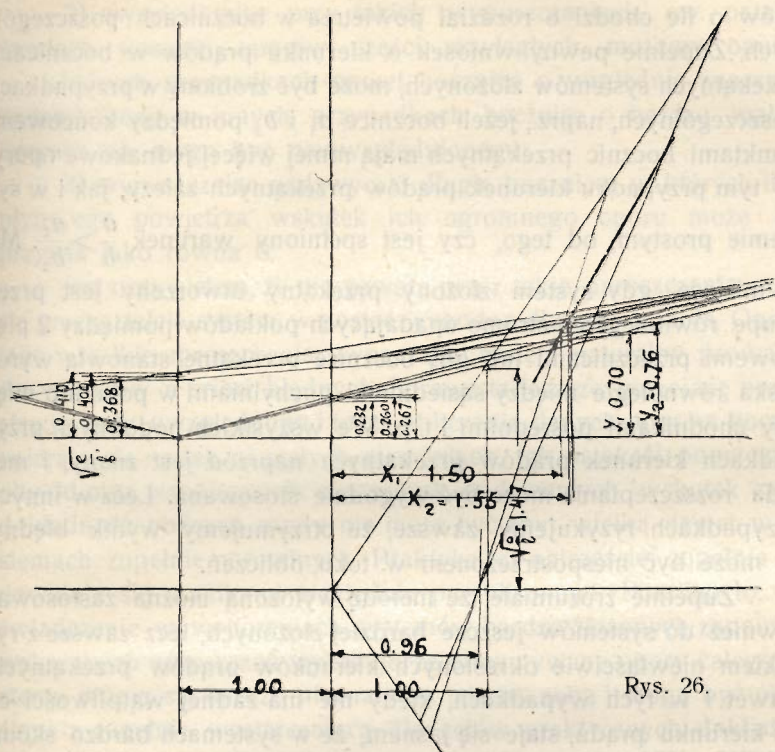
$$M_3 = b(Y + Z + U)^2 + cY^2 + a_1(X + Y)^2 + a_2(X + Y + Z)^2 = \\ = 80(0,552)^2 + 160(0,248)^2 + 30(0,696)^2 + 55(0,733)^2 = 84,5,$$

$$M_4 = b(Y + Z + U)^2 + b_1(Z + U)^2 + c_2Z^2 + a_2(X + Y + Z)^2 = \\ = 80(0,552)^2 + 435(0,304)^2 + 124(0,037)^2 + 55(0,733)^2 = 100,0.$$

$$M = \frac{1}{4} (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) = 83,8.$$

Różnica w określeniach M wynosi $6\frac{0}{10}$.

Przykład [podany nie jest bynajmniej wyjątkowym i wykazuje, że jest ryzykownem utrzymywać razem z prof. Protodjakonowem, jakoby wystarczyły 1 lub 2 obliczenia w zwykłych warunkach, gdyż niekiedy może być konieczną i większą ilość obliczeń. W przykładzie przytoczonym po 4-tem przybliżeniu można już uważać, że rozwiązanie zostało osiągnięte, jednak jest to słusznem tylko o ile chodzi o stosunki X, Y oraz U ; co się zaś tyczy



Rys. 26.

Określając opór ogólny podług wyników drugiego rozwiązania z wyrażeń (8, 9, 10), otrzymamy:

$$M_1 = 78,5, \quad M_2 = 69,6, \quad M_3 = 78,7,$$

przeciętnie:

$$M = 72,4.$$

Dla oporu ogólnego w obydwu przypadkach otrzymaliśmy liczby, nie wiele się różniące między sobą, lecz rozdział powietrza — zupełnie odmiennym. Jedno z tych rozwiązań jest błędne, mianowicie pierwsze, jakkolwiek spostrzedz to można było nie wcześniej niż w trzecim rozwiązaniu. Z drugiej strony, żadne oznaki zewnętrzne systemu nie dają nam wskazówek, którą bocznicę właśnie należy rozszczepiać. W ten sposób możemy słusznie twierdzić:

Metoda rozwiązywania systemów przekątnych złożonych przez rozszczepianie pewnych bocznic daje dość szybko wyniki ostateczne tylko w tych przypadkach, gdy podług ustosunkowania oporów bocznic przyległych można naprzód przewidzieć z pewnością kierunek prądu w bocznicach przekątnych; w przeciwnym razie dając mniej więcej dokładne wartości oporu ogólnego systemu, może być powyższa metoda powodem zupełnie błędnych wnio-

sków o ile chodzi o rozdział powietrza w bocznicach poszczególnych. Zupełnie pewny wniosek o kierunku prądów w bocznicach przekątnych systemów złożonych, może być zrobiony w przypadkach poszczególnych, naprz., jeżeli bocznic a_1 i b_2 pomiędzy końcowymi punktami bocznic przekątnych mają mniej więcej jednakowe opory. W tym przypadku kierunek prądów przekątnych zależy, jak i w systemie prostym, od tego, czy jest spełniony warunek $\frac{a}{b} > \frac{a_2}{b_2}$. Ma to miejsce, gdy system złożony przekątny utworzony jest przez grupę równoległych stromo upadających pokładów pomiędzy 2 piętrami przecznicami lub gdy bocznic przekątne stanowią wyrobiska równoległe między sąsiednimi pochylniami w polu, lub między chodnikami pośrednimi i t. p. We wszystkich podobnych przypadkach kierunek prądów przekątnych naprzód jest znany, i metoda rozszczepiania może być wygodnie stosowana. Lecz w innych przypadkach ryzykujemy zawsze, że otrzymujemy wynik błędny, co może być niespostrzeżeniem w toku obliczeń.

Zupełnie zrozumiałe, że metodę wyłożoną można zastosować również do systemów jeszcze bardziej złożonych, lecz zawsze z ryzykiem niewłaściwie określonych kierunków prądów przekątnych. Nawet i w tych wypadkach, kiedy nie ma żadnej wątpliwości co do kierunku prądu, staje się jasne, że w systemach bardzo skomplikowanych długiego czasu potrzeba na obliczenia (wszak każde rozszczepienie bocznic wymaga co najmniej trzech obliczeń) i że ta długość czasu bynajmniej nie jest wynagrodzoną odpowiednią dokładnością osiągniętych wyników. Dlatego więc celem ułatwienia obliczeń lepiej jest stosować sztuczne uproszczenia samego systemu złożonego.

§ 10. Uproszczenie systemów złożonych. Jeżeli posiadamy nadzwyczaj złożony system, składający się z mnóstwa gałęzi normalnych różnych klas oraz prądów przekątnych różnych typów, wówczas po określeniu oporów poszczególnych bocznic w miurkach, zalecamy naprzód uprościć w jakikolwiek bądź sposób sztuczny ten system tak, żeby składał się z elementów połączonych w ugrupowaniach, które mogą być wyliczone bądź podług zasad systemów normalnych, bądź prostych przekątnych. To można wykonać:

1) wypuszczając niektóre bocznic o bardzo nieznacznym oporze, lub lepiej przenosząc punkta końcowe bocznic przekątnych do punktów najbliższych węzłowych bocznic normalnych;

2) uwzględniając przy takich wypuszczaniach, ew. przenoszeniach stosunki oporów części przyległych, możemy opuścić w niektórych przypadkach nawet bocznicę o względnie znacznym oporze, kiedy w innych przypadkach bocznicę o bardzo małych oporach nie mogą być nieuwzględnionemi;

3) wypuszczając nadzwyczaj długie bocznicę, w których ilość płynącego powietrza wskutek ich ogromnego oporu może być przyjęta jako równa 0.

Jest oczywiste, że nie zawsze przez takie uproszczenia udaje się przekształcić system w postać wygodną dla rozwiązania. Oprócz tego wszelkie uproszczenia, wypaczając system naturalny, prowadzą do wyników a priori błędnych. Sprawa ta jeszcze gorzej się przedstawia, gdy uwzględnimy i to, że obliczenia danych oporów bocznic opierają się na tak niestałych elementach, jak przekrój poprzeczny, obwód oraz współczynnik α wyrobisk podziemnych, wskutek czego dokładność obliczeń nigdy nie może być zbyt wielką nawet w systemach zupełnie normalnych. Praktyka też najczęściej zupełnie zadowalnia się wynikami względnie przybliżonemi. Pomimo to, doświadczenie w wyliczeniach systemów bardzo złożonych zapomocą wskazanych uproszczeń wykazuje, że otrzymywane opory całego systemu różnią się bardzo nieznacznie między sobą i mogą być określone z zupełnie wystarczającą dla celów praktycznych dokładnością, różniąc się od wielkości rzeczywistych o 5—10%. Większe rozbieżności otrzymuje się w określeniach ustosunkowania ilości powietrza w bocznicach. Jednak ta okoliczność, że dane dla tych obliczeń (miurgi bocznic poszczególnych) nie są bardzo dokładne a i wymagania praktyki względem podobnych obliczeń nie są i nie mogą być zbyt wygórowane, dopuszcza i usprawiedliwia zastosowanie dość sztucznych sposobów uproszczenia systemów nawet w tych przypadkach, gdy podług ugrupowania swych elementów, należą one do postaci rozwiązalnych, nie wymagających zbyt długich obliczeń.

Przykład rozwiązania metodą uproszczeń systemów złożonych (kop. Saturn) był załączony w „Przeglądzie Górn. Hutn.“ 1909, 1910 roku.

ROZDZIAŁ III.

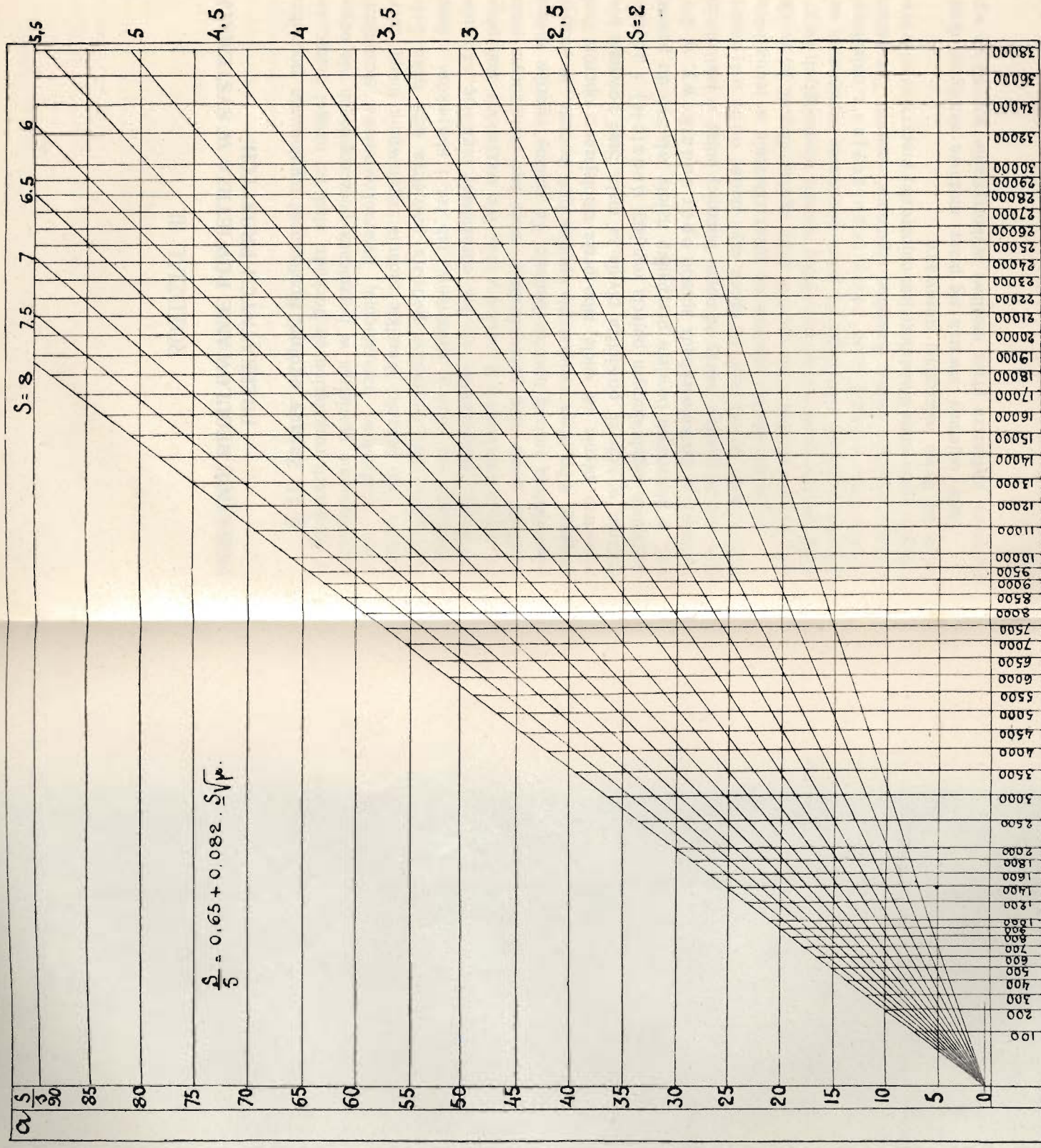
DODATNIE REGULOWANIE POWIETRZA W SYSTEMACH PRZEKĄTNYCH PROSTYCH.

§ 11. Zasady ogólne. Konieczność regulowania powietrza w systemach rozgałęzionych pochodzi stąd, że, naogół biorąc, zapotrzebowanie powietrza w bocznicach poszczególnych nie odpowiada rozdziałowi naturalnemu, uwarunkowanemu stosunkami oporów tych bocznic. Wszelkie zadania regulowania mogą dotyczyć: albo tylko stosunków podziału powietrza albo tylko ilości absolutnej bez zmiany stosunków, lub też i stosunków i ilości absolutnej jednocześnie. To też odróżniamy regulację stosunkową, absolutną i całkowitą. We wszystkich atoli przypadkach nowy stan przewietrzania może być utworzonym przez odpowiednią zmianę oporów bocznic. Te zmiany oporów można osiągnąć albo przez zwiększenie oporów tych bocznic, w których powietrza płynie za wiele, albo przez zmniejszenie oporów tych bocznic, w których powietrza płynie za mało. Stąd powstaje pod względem algebraicznym pojęcie regulacji dodatniej i odjemnej, w pierwszym bowiem przypadku należy włączyć do pewnej boczniczy w jakikolwiek sposób opór dodatkowy, w drugim zaś przypadku należy od oporu boczniczy odjąć w jakikolwiek bądź sposób pewną część jej oporu, czyli dodać opór odjemny.

Opór dodatkowy stwarza się przez złączenie w jedną bocznicę kilku wyrobisk w ten sposób, żeby ogólna długość jej zwiększyła się albo przez wykluczenie kilku bocznic równoległych (w systemach wyrobisk równoległych), przez utworzenie raptownych zawrotów albo wreszcie przez tamy regulacyjne z okienkiem, którego wielkość można dowolnie regulować zasuwą. Ten ostatni sposób regulowania dodatniego jest najbardziej precyzyjnym i w praktyce też bywa najczęściej stosowany.

Opór odjemny stwarza się przez możliwe skrócenie drogi boczniczy, zwłaszcza przez możliwe wykorzystanie wszystkich wy-

Wykres dla określenia wielkości okienek tam regulacyjnych.



Rys. 27c

robisk równoległych (chodniki podstawowe z równoległymi wentylacyjnymi, pochylnie ze schodowymi chodnikami etc.), wreszcie przez stworzenie sztucznej depresji w bocznicach za pomocą wentylatora pomocniczego, metody najczęściej spotykanej w praktyce, lub zapomocą inżektora (Petit'a), przyrządu nadzwyczaj sprawnego, niestety rzadko stosowanego w kopalniach. W rozdziale osobnym podamy ogólne zasady regulowania odjemnego, jako mniej znane ogółowi inżynierów, niemniej zasługujące na baczną uwagę, zwłaszcza za pomocą inżektorów, dających często pod względem ekonomicznym wyniki lepsze, niż ogólnie używane tamy regulacyjne. W niniejszym rozdziale będziemy rozpatrywali regulowanie dodatnie za pomocą tam regulacyjnych.

Zadanie we wszystkich przypadkach polega na określeniu oporów dodatkowych μ , poczem wielkość okienka tamy regulacyjnej znajduje się z ogólnie znanego wzoru Petit'a:

$$\frac{S}{s} = m + m \cdot S \sqrt{\frac{2g\mu}{1000\delta}} \quad (80)$$

gdzie S to przekrój chodnika w miejscu zbudowanej tamy regulacyjnej, obliczony w m^2 ,

„ s „ przekrój okienka w tamie regulacyjnej w m^2 ,

„ m „ współczynnik zwężenia prądu, wpływającego z okienka, = 0,65,

„ δ „ ciężar 1 m^3 powietrza przy temperaturze przeciętnej w kopalni $+15^\circ C$, = 1,226,

„ μ „ opór dodatkowy, stwarzany tamą regulacyjną, w miurgach,

„ g „ 9,81.

Po podstawieniu wartości stałych wzór Petit'a otrzymuje postać:

$$\frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 S \sqrt{\mu}; \quad (81)$$

przy bardzo wielkich oporach μ można używać wzoru skróconego:

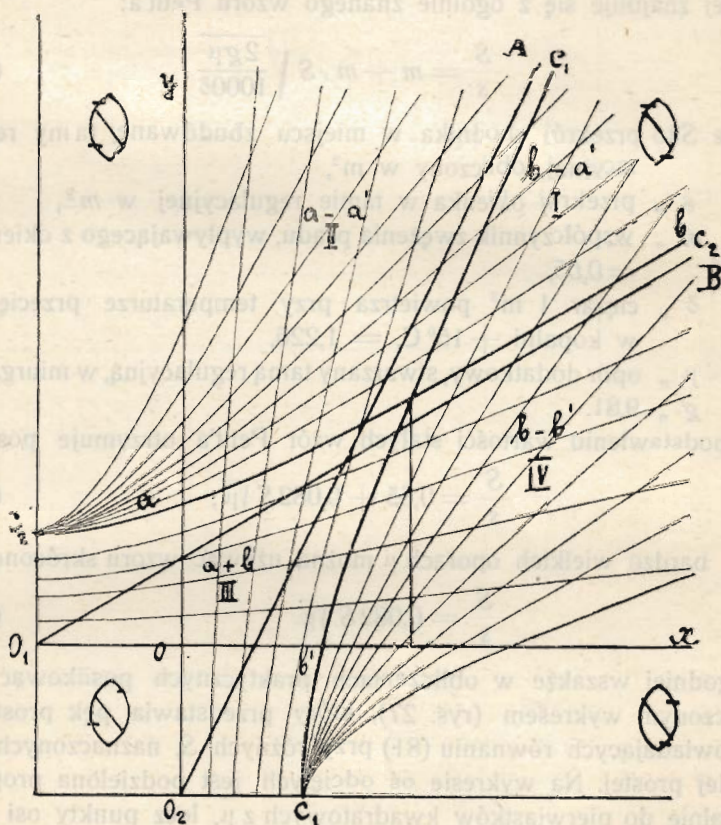
$$\frac{S}{s} = 0,082 S \sqrt{\mu}. \quad (82)$$

Wygodniej wszakże w obliczeniach praktycznych posłużyć się załączonym wykresem (rys. 27), który przedstawia pęk prostych odpowiadających równaniu (81) przy różnych S , naznaczonych na każdej prostej. Na wykresie oś odciętych jest podzielona proporcjonalnie do pierwiastków kwadratowych z μ , lecz punkty osi odciętych o odciętej $\sqrt{\mu}$ oznaczono liczbą μ (obliczoną w miurgach).

rzędne zaś przedstawiają stosunki $\frac{S}{s}$. Posiłkowanie się tym wykresem jest zupełnie łatwe i komentarzy nie wymaga.

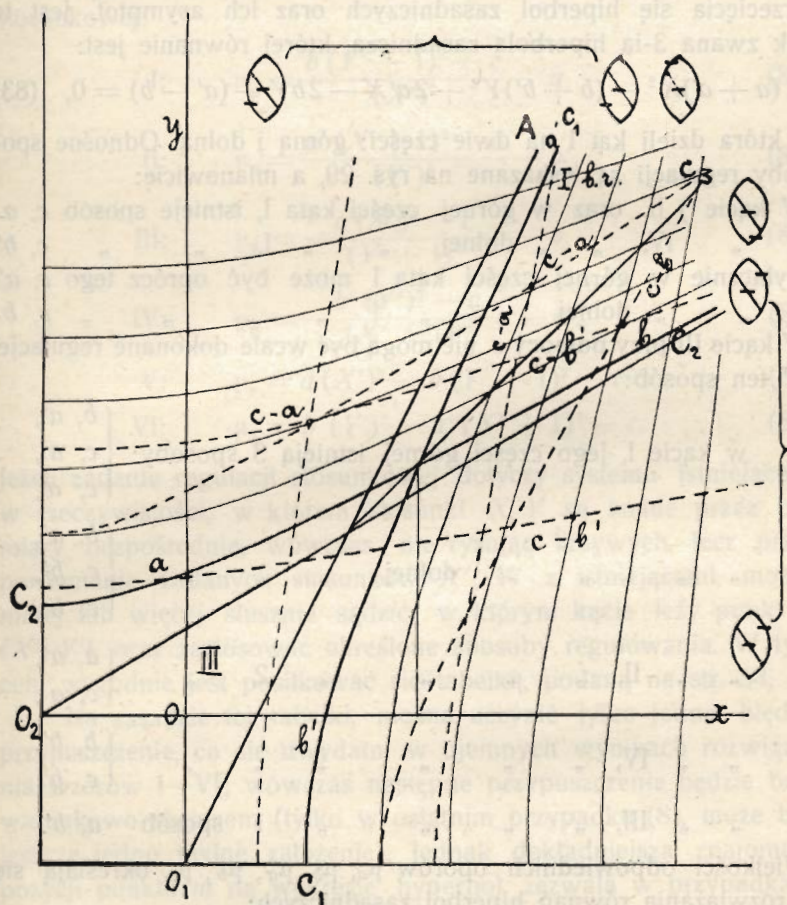
Pozostaje zatem określenie oporów dodatkowych. W zastosowaniu do systemów normalnych zadanie nie zawiera żadnych osobliwych trudności. Rozwiązanie w postaci ogólnej czytelnik znajdzie w cytowanym już artykule Przeglądu Górn.-Hutn. Dalsze wywody będą dotyczyły systemów przekątnych.

§ 12. Regulacja stosunkowa. Kwestja ta była wyczerpująco opracowaną w obydwu wyżej cytowanych rozprawach autora (rosyjskiej i polskiej). Zaznaczymy wobec tego w skróceniu, że problem ustalenia żądanych stosunków podziału powietrza w systemie prostym przekątnym, X' i Y' , polega na ustaleniu takich zmian w oporach bocznic poszczególnych danego układu przez zwięks-



Rys. 28.

szenie ich za pomocą tam regulacyjnych, żeby obydwie hiperbole przecięły się w nowym punkcie, których rzędne są z góry zadane X' i Y' . Wogóle można to uczynić wielu i różnymi sposobami w zależności od miejsca, zajmowanego przez punkt (X', Y') w stosunku do pozycji hiperbol zasadniczych. Dla zorientowania się w możliwych sposobach regulacji załączamy 2 szkice (rys. 28 i 29), z których pierwszy uwydatnia wszystkie zmiany zachodzące w pozycjach hiperbol przy regulowaniu bez udziału bocznicy przekąt-



Rys. 29.

nej c , zaś drugi — przy jej współudziale. Na rys. 28 odróżniamy 4 kąty krzywoliniowe, utworzone przez hiperbole zasadnicze, kąty te oznaczamy numerami I, II, III i IV w porządku, w jakim

się numeruje ćwiartki płaszczyzny. W odnośnych kątach oznaczone są bocznicę i szkice, ujawniające sposób ustalenia stosunków $X'Y'$, odpowiadających współrzędnym punktów tego kąta, bez udziału c :

Pozycje w kącie I osiąga się przez zwężenie bocznic b, a' ,

" " II " " " " " " a, a' ,

" " III " " " " " " a, b' ,

" " IV " " " " " " b, b' .

Na rys. 29 widzimy jeszcze linię C_3 , przechodzącą przez punkt przecięcia się hiperbol zasadniczych oraz ich asymptot. Jest to tak zwana 3-ia hiperbola zasadnicza, której równanie jest:

$$(a + a')X^2 - (b + b')Y^2 + 2a'X - 2bY + (a' - b) = 0, \quad (83)$$

a która dzieli kąt I na dwie części: górną i dolną. Odnosne sposoby regulacji są wskazane na rys. 29, a mianowicie:

W kącie ¹⁾ II, oraz w górnej części kąta I, istnieje sposób c, a ,

" " IV, " " dolnej " " I, " " c, b' ,
wyłącznie w górnej części kąta I może być oprócz tego c, a' ,

" " dolnej " " I " " " c, b .

W kącie III przy pomocy c nie mogą być wcale dokonane regulacje.

W ten sposób:

w kącie I, jego części górnej istnieją 3 sposoby: $\begin{cases} b, a', \\ c, a, \\ c, a', \end{cases}$

" " I, " " dolnej " " " $\begin{cases} b, a', \\ c, b', \\ c, b, \end{cases}$

" " II, " " " " 2 " $\begin{cases} a, a', \\ c, a, \end{cases}$

" " IV, " " " " " $\begin{cases} b, b', \\ c, b', \end{cases}$

" " III, " " " " 1 sposób a, b' .

Wielkości odpowiednich oporów $\mu_a, \mu_b, \mu_{a'}, \mu_{b'}, \mu_c$, określają się z rozwiązania równań hiperbol zasadniczych:

$$\frac{X^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(Y+1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} = 1,$$

¹⁾ Kąt II ma to samo położenie, jak na rys. 28

$$\frac{Y^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(X+1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} = 1,$$

w których X i Y są wielkościami zadanymi X' , Y' ; niewiadomymi zaś są dwie z wielkości a , b , a' , b' , c , stosownie do podanej powyżej tabelki, które po rozwiązaniu i po odjęciu ich pierwotnej wielkości dadzą nam właśnie szukane opory tam regulacyjnych. W ten sposób wyprowadza się następujące wzory dla regulacji stosunkowej:

$$\text{I: } \mu_a = \frac{b(Y'+1)^2 + c}{(X')^2} - a, \quad (84)$$

$$\text{II: } \mu_{b'} = \frac{a'(X'+1)^2 + c}{(Y')^2} - b', \quad (85)$$

$$\text{III: } \mu_b = \frac{a(X')^2 - c}{(Y'+1)^2} - b, \quad (86)$$

$$\text{IV: } \mu_{a'} = \frac{b'(Y')^2 - c}{(X'+1)^2} - a', \quad (87)$$

$$\text{V: } \mu_c = a(X')^2 - b(Y'+1)^2 - c. \quad (88)$$

$$\text{VI: } \mu_{c'} = b'(Y')^2 - a'(X'+1)^2 - c. \quad (89)$$

Jeżeli zadanie regulacji stosunkowej dotyczy systemu istniejącego w rzeczywistości, w którym stosunki X , Y są znane przez pomiary bezpośrednie, wówczas, nie rysując krzywych, lecz przez porównanie zadanych stosunków X' , Y' z istniejącymi, można mniej lub więcej słusznie sądzić, w którym kącie leży punkt m (X' , Y'), oraz zastosować określone sposoby regulowania. W tym celu wygodnie jest posiłkować się tabelką, podaną na str. 54.

Na zasadzie tej tabelki, można uczynić tylko jedno błędne przypuszczenie, co się uwydatni w ujemnych wynikach rozwiązania wzorów I—VI; wówczas następne przypuszczenie będzie bezwarunkowo słusznem (tylko w ostatnim przypadku (8), może być jeszcze jedno mylne założenie). Jednak dokładniejsza znajomość pozycji punktu m na wykresie hyperbol zezwala w przypadkach $Y' > Y$, $X' > X$ uczynić należyty wybór z 3 możliwych sposobów regulacji w kącie I.

Możliwość regulacji kilkoma sposobami jest okolicznością wyróżniającą wygodnie systemy przekątne od normalnych, gdyż daje ona możność

	jeżeli:	punkt m leży w kącie	należy zwró- cić bocznie	posiłkując się wzorami
1	$\begin{cases} Y' > Y \\ X' < X \end{cases}$	II	a, a' c, a	I, IV V, I
2	$\begin{cases} Y' < Y \\ X' > X \end{cases}$	IV	b, b' c, b'	III, II V, II
3	$\begin{cases} Y' > Y \\ X' > X \end{cases} \frac{Y'}{X'} \text{znacznie} > \frac{Y}{X}$	II lub I nad C_3	c, a	V, I
4	" $\frac{Y'}{X'} \text{znacznie} < \frac{Y}{X}$	IV lub I pod C_3	c, b'	V, II
5	" $\frac{Y'}{X'} \infty = \frac{Y}{X}$	I	b, a'	III, IV
6	$\begin{cases} Y' < Y \\ X' < X \end{cases} \frac{Y'}{X'} \text{znacznie} > \frac{Y}{X}$	II	a, a' c, a	I, IV V, I
7	" $\frac{Y'}{X'} \text{znacznie} < \frac{Y}{X}$	IV	b, b' c, b'	III, II V, II
8	" $\frac{Y'}{X'} \infty = \frac{Y}{X}$	III	a, b'	I, II

przystosowania się do warunków lokalnych i zezwala umieszczać tamy regulacyjne w takich bocznicach, gdzie one będą najmniej zawadzały. Jednak należy przytem pamiętać, że opór ogólny systemu uregulowanego nie zależy od sposobu regulowania, za wyjątkiem sposobu b, a' w kącie I, który daje większy opór ogólny, aniżeli 2 drugie w tymże kącie i przeto stosowania tego sposobu w praktyce należy unikać.

§ 13. Trzecia hiperbola zasadnicza. W cytowanej pracy polskiej, umieszczonej w Przeglądzie Górn.-Hutn. nie wyprowadziłem wzoru krzywej C_3 ani nie podałem jej własności. Czynie to dopiero tutaj.

Równanie:

$$(a + a') X^2 - (b + b') Y^2 + 2a'X - 2bY + (a' - b) = 0 \quad . \quad C_3,$$

otrzymuje się z równań hiperbol zasadniczych

$$aX^2 - b(Y + 1)^2 = c \quad . \quad C_1,$$

$$b'Y^2 - a'(X + 1)^2 = c \quad . \quad C_2$$

przez odjęcie drugiego od pierwszego, należy zatem krzywa C_3 do krzywych pęku:

$$f(xy) - \lambda f'(xy) = 0,$$

gdy

$$\lambda = 1.$$

A więc krzywa C_3 przechodzi przez punkty przecięcia się krzywych C_1 i C_2 . Ona nie zawiera wielkości c , a zatem zachowuje swoje położenie przy wszelkich zmianach oporu c i musi przechodzić przez punkty przecięcia się wszystkich hiperbol, mających te same a, b, a', b' , lecz zmienne c . Zatem jest ona miejscem geometrycznym punktów przecięcia się wszystkich hiperbol podobnych. Do ich rzędu należą również ich wspólne asymptoty. Przechodząc więc przez 4 punkty przecięcia się hiperbol zasadniczych, krzywa C_3 winna również przechodzić przez 4 punkty przecięcia się ich asymptot.

Znajdźmy własności krzywej C_3 . Przedewszystkiem jest to równanie drugiego stopnia, a zatem jest stożkową. W równaniu ogólnem stożkowej:

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0, \quad (90)$$

wyraz $2a_{12}xy$ wskazuje na nachylenie osi krzywej względem osi układu. Ponieważ w równaniu C_3 takiego wyrazu nie ma, przeto osie jej są równoległe do osi układu Kartezjusza. Przenosząc początek układu Kartezjusza do środka krzywej, równaniu ogólnem przy $a_{12} = 0$, nadamy postać kanoniczną:

$$\text{lub: } \left. \begin{aligned} a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + \frac{\Delta}{A_{33}} &= 0, \\ \frac{x^2}{\left(-\frac{\Delta}{a_{11}A_{33}}\right)} + \frac{y^2}{\left(-\frac{\Delta}{a_{22}A_{33}}\right)} &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (91)$$

W tych wyrazach Δ jest wyznacznikiem współczynników równania ogólnego:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} \quad (92)$$

A_{33} to jeden z minorów tego wyznacznika:

$$A_{33} = a_{11}a_{22} - a_{12}^2, \quad (93)$$

przyczem zakładamy, że $A_{33} \neq 0$.

$$\text{Półosie są: } \left. \begin{aligned} A &= \sqrt{-\frac{\Delta}{a_{11}A_{33}}} \\ B &= \sqrt{-\frac{\Delta}{a_{22}A_{33}}} \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

$$\text{Współrzędne środka: } \alpha = \frac{A_{13}}{A_{33}}, \quad \beta = \frac{A_{23}}{A_{33}}, \quad (95)$$

gdzie A_{13} i A_{23} są minorami wyznacznika Δ . Zastosowując te wzory ogólne do danego przypadku, oraz spostrzegając, że:

$$\begin{aligned} a_{11} &= a + a', & a_{13} &= a', \\ a_{12} &= 0, & a_{23} &= -b, \\ a_{22} &= -(b + b'), & a_{33} &= a' - b, \end{aligned}$$

otrzymamy:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a + a', & 0, & a' \\ 0, & -(b + b'), & -b \\ a, & -b, & a' - b \end{vmatrix}$$

$$A_{11} = -(b + b')(a' - b) - b^2,$$

$$A_{12} = -a'b,$$

$$A_{13} = +a'(b + b'),$$

$$A_{22} = +(a + a')(a' - b) - a'^2,$$

$$A_{23} = +b(a + a'),$$

$$A_{33} = -(a + a')(b + b').$$

Ponieważ $A_{33} < 0$, przeto krzywa C_3 jest hiperbolą.

Współrzędne środka na podstawie (95) są:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{A_{13}}{A_{33}} = -\frac{a'(b + b')}{(a + a')(b + b')} = -\frac{a'}{a + a'} > -1, \\ \beta &= \frac{A_{23}}{A_{33}} = -\frac{b(a + a')}{(a + a')(b + b')} = -\frac{b}{b + b'} > -1. \end{aligned} \right\} \quad (96)$$

Stąd, środek krzywej C_3 leży w III ćwiartce, oraz wewnątrz kwadratu utworzonego przez przecięcie się osi współrzędnych z głównymi osiami hiperboli zasadniczych C_1, C_2 .

Półosie krzywej C_3 znajdujemy na podstawie wzorów (94):

$$\begin{aligned} A^2 &= \frac{\Delta}{-a_{11} A_{33}} = -\frac{(a + a') A_{11} + a' A_{13}}{(a + a') A_{33}} = -\frac{A_{11}}{A_{33}} - \frac{a'}{a + a'} \cdot \frac{A_{13}}{A_{33}} = \\ &= -\frac{A_{11}}{A_{33}} + \alpha^2 = -\frac{[-(b + b')(a' - b) - b^2]}{-(a + a')(b + b')} + \alpha^2 = \\ &= (\alpha + 1)\alpha + (\beta + 1)\frac{b}{a + a'} \end{aligned} \quad (97)$$

tak samo:

$$B^2 = \frac{\Delta}{-a_{22} A_{33}} = (\alpha + 1)\frac{a'}{b + b'} + (\beta + 1)\beta. \quad (98)$$

Oznaczając:

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{a + a'} &= \gamma, \\ \frac{a'}{b + b'} &= \beta. \end{aligned} \right\} \quad (99)$$

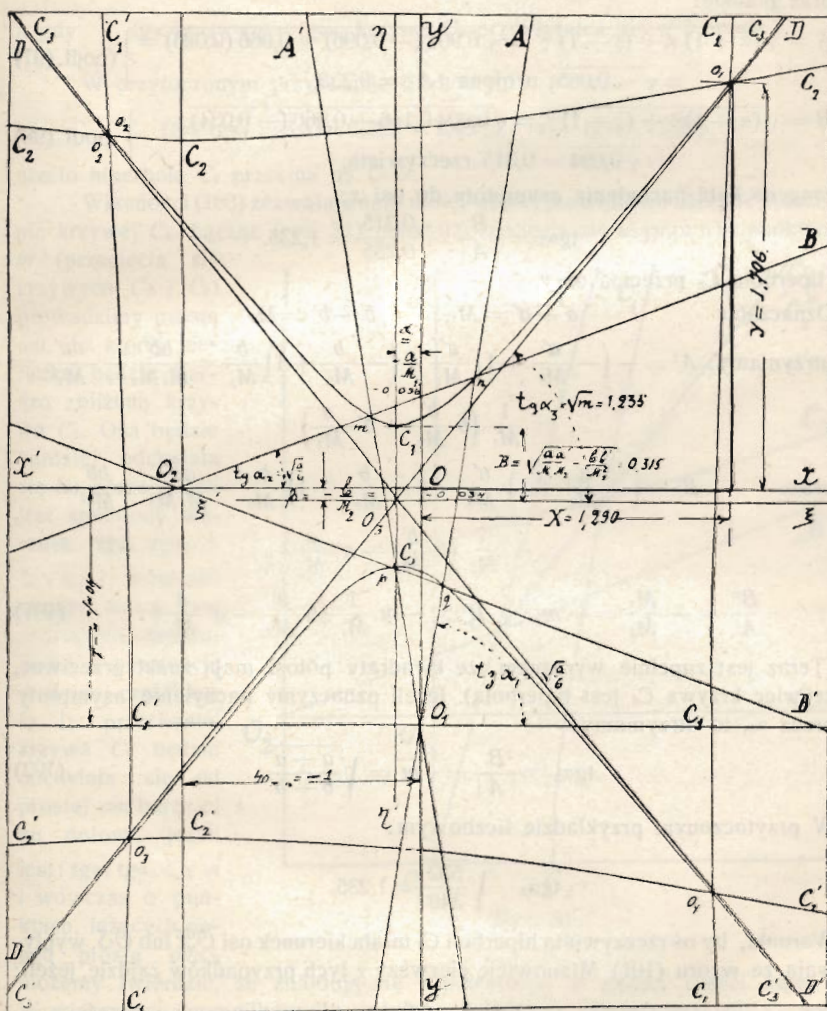
równaniu C_3 nadamy postać:

$$\frac{X^2}{(\alpha + 1)\alpha + (\beta + 1)\gamma} - \frac{Y^2}{[(\alpha + 1)\beta + (\beta + 1)\beta]} = 1. \quad (100)$$

Rys. 30 podaje dokładny obraz hiperboli C_3 i wszystkie jej elementy dla systemu, którego rozwiązanie podane jest w § 2.

Na tym rysunku mamy przy $a = 481$, $a' = 51$, $b = 12$, $b' = 337$, $c = 721$ dla hiperbol zasadniczych C_1 i C_2 :

$$\left. \begin{aligned} O_1 C_1 = a_1 &= \sqrt{\frac{c}{a}} = \sqrt{\frac{721}{481}} = 1,224, \\ O_2 C_2 = b_2 &= \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{721}{337}} = 1,463, \\ \operatorname{tg} \alpha_1 &= \sqrt{\frac{a}{b}} = \sqrt{\frac{481}{12}} = 6,331, \\ \operatorname{tg} \alpha_2 &= \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \sqrt{\frac{51}{337}} = 0,389, \end{aligned} \right\} \begin{aligned} X &= 1,290, \\ Y &= 1,706, \end{aligned}$$



Rys. 30.

dla hiperboli C_3 zaś:

$$\left. \begin{aligned} \text{współrzędne środka: } \alpha &= -\frac{a'}{a+a'} = -\frac{51}{532} = -0,096, \\ \beta &= -\frac{b}{b+b'} = -\frac{12}{349} = -0,034, \end{aligned} \right\} \text{podług (96)}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{obliczamy następnie: } \gamma &= \frac{b'}{a+a'} = \frac{12}{532} = 0,023, \\ \delta &= \frac{a'}{b+b'} = \frac{51}{349} = 0,146, \end{aligned} \right\} \text{podług (99)}$$

oraz półosie:

$$\left. \begin{aligned} A &= \sqrt{(\alpha+1)\alpha + (\beta+1)\gamma} = \sqrt{0,904(-0,096) + 0,966(0,023)} = \\ &= \sqrt{-0,065}; \text{ urojona } |A| = 0,255, \end{aligned} \right\} \text{podł. (97)}$$

$$\left. \begin{aligned} B &= \sqrt{(\alpha+1)\delta + (\beta+1)\gamma} = \sqrt{0,904 \cdot 0,146 + 0,966(-0,034)} = \\ &= \sqrt{0,094} = 0,315 \text{ rzeczywista,} \end{aligned} \right\} \text{podł. (98)}$$

tangens kąta nachylenia asymptoty do osi x :

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{B}{|A|} = \frac{0,315}{0,255} = 1,235.$$

Hiperbola C_3 przecina oś y .

Oznaczając

$$a+a' = M_1, \quad b+b' = M_2$$

$$\begin{aligned} \text{otrzymamy: } A^2 &= -\left(-\frac{a'}{M_1} + 1\right) \frac{a'}{M_1} + \left(-\frac{b}{M_2} + 1\right) \frac{b}{M_1} = \frac{bb'}{M_1 M_2} - \frac{aa'}{M_1^2} = \\ &= \frac{1}{M_1} \left(b \frac{b'}{M_2} - a' \frac{a}{M_1}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{oraz: } B^2 &= \left(-\frac{a'}{M_1} + 1\right) \frac{a'}{M_2} - \left(-\frac{b}{M_2} + 1\right) \frac{b}{M_2} = \frac{aa'}{M_1 M_2} - \frac{bb'}{M_2^2} = \\ &= -\frac{1}{M_2} \left(b \frac{b'}{M_2} - a' \frac{a}{M_1}\right), \end{aligned}$$

$$\text{i: } \frac{B^2}{A^2} = -\frac{M_1}{M_2} = -m, \quad B^2 = -m \frac{1}{M_1} \left(b \frac{b'}{M_2} - a' \frac{a}{M_1}\right). \quad (101)$$

(Teraz jest zupełnie wyraźnem, że kwadraty półosi mają znaki przeciwne, że więc krzywa C_3 jest hiperbolą). Jeżeli oznaczymy nachylenie asymptoty przez α_3 , to otrzymamy:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{B}{|A|} = \sqrt{m} = \sqrt{\frac{a+a'}{b+b'}}. \quad (102)$$

W przytoczonym przykładzie liczbowym:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \sqrt{\frac{532}{349}} = 1,235.$$

Warunki, by oś rzeczywista hiperboli C_3 miała kierunek osi OX lub OS , wypływają ze wzoru (101). Mianowicie pierwszy z tych przypadków zajdzie, jeżeli:

$$\frac{bb'}{M_2} - \frac{aa'}{M_1} > 0$$

albo:

$$\frac{aa'}{bb'} < \frac{M_1}{M_2} = m,$$

skąd:

$$\sqrt{\frac{a}{b}} \sqrt{\frac{a'}{b'}} < \sqrt{m},$$

jeżeli więc: $\operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 < \sqrt{m} = \operatorname{tg} \alpha_3$, rzeczywista oś krzywej C_3 jest || do osi $\mathcal{O}X$,
jeżeli zaś: $\operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 > \sqrt{m} = \operatorname{tg} \alpha_3$, " " " " " " " " $\mathcal{O}Y$,
a gdy $\operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{m} = \operatorname{tg} \alpha_3$, krzywa C_3 przekształca się w 2 proste. (103)

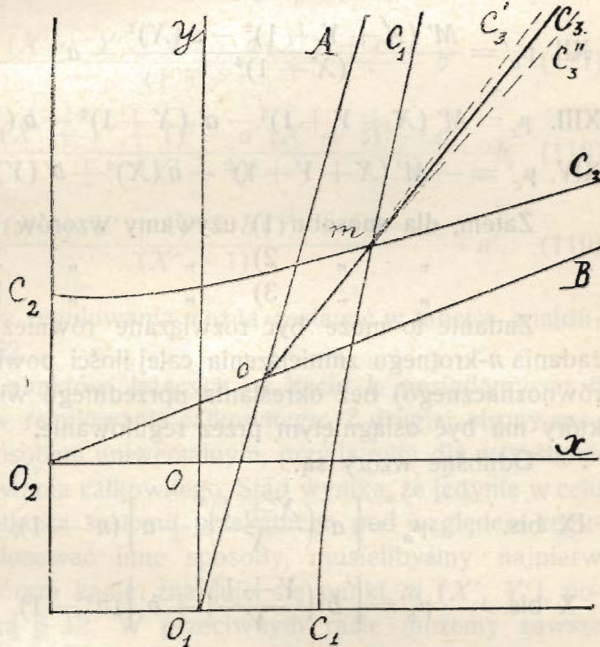
W przytoczonym przykładzie liczbowym:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 = 6,331, 0,389 = 2,45 > \sqrt{m} = \operatorname{tg} \alpha_3 = 1,235,$$

przeto hiperbola C_3 przecina oś $\mathcal{O}Y$.

Własności (103) zezwalają nam mniej więcej prawidłowo określić położenie krzywej C_3 . Łącząc (rys. 31) punkt 0 (przecięcia się asymptot) z punktem

m (przecięcia się krzywych C_1 i C_2) prowadzimy prostą om , do której kierunku będzie bardzo zbliżoną krzywa C_3 . Ona będzie bardziej odchylała się ku górze, jeżeli jest spełniony warunek $\operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 > \sqrt{m}$, i wówczas punkty leżące pod prostą omC_3 znajdują się z pewnością w dolnej części kąta I; przeciwnie, krzywa C_3 będzie odchylała się od prostej om bardziej ku dołowi, jeżeli jest: $\operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 < \sqrt{m}$ i wówczas o punktach, leżących ponad prostą omC_3



Rys. 31.

możemy twierdzić, że znajdują się z pewnością w górnej części kąta I. W większości przypadków dla zadań praktycznych zamiast krzywej C_3 wystarczy prowadzić prostą om .

§ 14. Regulacja absolutna czyli oporu M' całego systemu bez zmiany stosunków X, Y , dokonywa się w sposób trojaki:

- 1) przez zwężenie tamami regulacyjnymi bocznici a i b ,
- 2) „ „ „ „ „ a', b' ,
- 3) „ „ „ „ „ a, c i b' .

Sposoby te stosują się oczywiście wtedy, gdy ustawienie poza systemem jednej tamy, regulującej cały strumień wpływający do niego, jest wykluczone. Opór tych tam regulacyjnych określa się z 4 wzorów (8—11, § 1) oporu ogólnego, w których zakładamy, że X, Y są niezmiennie:

$$\text{IX. } \mu_a = \frac{M'(X+Y+1)^2 - a'(X+1)^2}{(X)^2} - a \quad (104)$$

$$\text{X. } \mu_b' = \frac{M'(X+Y+1)^2 - b(Y+1)^2}{(Y)^2} - b' \quad (105)$$

$$\text{XI. } \mu_b = \frac{M'(X+Y+1)^2 - b'(Y)^2}{(Y+1)^2} - b \quad (106)$$

$$\text{XII. } \mu_a' = \frac{M'(X+Y+1)^2 - a(X)^2}{(X+1)^2} - a' \quad (107)$$

$$\text{XIII. } \mu_c = M'(X+Y+1)^2 - a'(X+1)^2 - b(Y+1)^2 - c \quad (108)$$

$$\text{XIV. } \mu_c' = -M'(X+Y+1)^2 + a(X)^2 + b'(Y)^2 - c^1. \quad (109)$$

Zatem, dla sposobu 1) używamy wzorów IX i XI,

„ „ 2) „ „ XII i X,

„ „ 3) „ „ IX, X i XIII.

Zadanie to może być rozwiązane również w zależności od żądania n -krotnego zmniejszenia całej ilości powietrza (ew. otworu równoznacznego) bez określania uprzedniego wielkości oporu M' , który ma być osiągniętym przez regulowanie.

Oдноśne wzory są:

$$\text{IX bis. } \mu_a = \left[a' \left(\frac{X+1}{X} \right)^2 + a \right] (n^2 - 1), \quad (110)$$

$$\text{X bis. } \mu_b' = \left[b \left(\frac{Y+1}{Y} \right)^2 + b' \right] (n^2 - 1), \quad (111)$$

$$\text{XI bis. } \mu_b = \left[b' \left(\frac{Y}{Y+1} \right)^2 + b \right] (n^2 - 1), \quad (112)$$

¹⁾ Wzory XIV i XIV bis dają zawsze wartości ujemne i mogą znaleźć zastosowanie jedynie przy regulacji całkowitej.

$$\text{XII bis.} \quad \mu_a' = \left[a \left(\frac{X}{X+1} \right)^2 + a' \right] (n^2 - 1), \quad (113)$$

$$\text{XIII bis.} \quad \mu_c = [a' (X+1)^2 + b (Y+1)^2 + c] (n^2 - 1)^{-1} \quad (114)$$

$$\text{XIV bis.} \quad \mu_c' = [c - a (X)^2 - b' (Y)^2] (n^2 - 1)^{-2}. \quad (115)$$

§ 15. Regulacja całkowita stosunków $X' Y'$ i oporu M uzależnia się od kątów, w których przypada punkt $m (X', Y')$. Odnosne sposoby otrzymujemy przez kombinację metod regulowania stosunkowego i absolutnego z żądaniem, ażeby ogólna ilość tam była możliwie najmniejszą.

Regulacji całkowitej we wszystkich przypadkach można dokonać zawsze za pomocą trzech tam. Wzory, którymi się przy tem możemy posługiwać, prócz wyżej podanych, mogą być jeszcze:

$$\text{XV.} \quad \mu_a' = \frac{M' (X' + Y' + 1)^2 - b' (Y')^2 + c}{(X')^2} - a, \quad (116)$$

$$\text{XVI.} \quad \mu_b' = \frac{M' (X' + Y' + 1)^2 - a (X')^2 + c}{(Y')^2} - b' \quad (117)$$

$$\text{XVII.} \quad \mu_b = \frac{M' (X' + Y' + 1)^2 - a' (X' + 1)^2 - c}{(Y' + 1)^2} - b, \quad (118)$$

$$\text{XVIII.} \quad \mu_a' = \frac{M' (X' + Y' + 1)^2 - b (Y' + 1)^2 - c}{(X' + 1)^2} - a'. \quad (119)$$

Wszystkie sposoby regulowania można zestawić w tabelce, znajdującej się na str. 62.

Zatem, dla punktów leżących w kącie I, posiadamy aż 6 różnych sposobów regulowania całkowitego. Z drugiej strony sposób a, c, b' jest sposobem uniwersalnym, przydatnym dla wszystkich problemów regulowania całkowitego. Stąd wynika, że jedynie w celu wykorzystania giętkości systemu przekątnego pod względem regulowania, chcąc stosować inne sposoby, musielibyśmy najpierw rozstrzygnąć, w którym kącie znajduje się punkt $m (X', Y')$, posilkując się tabelką § 12. W przeciwnym razie możemy zawsze stosować bezwzględnie sposób uniwersalny acb' .

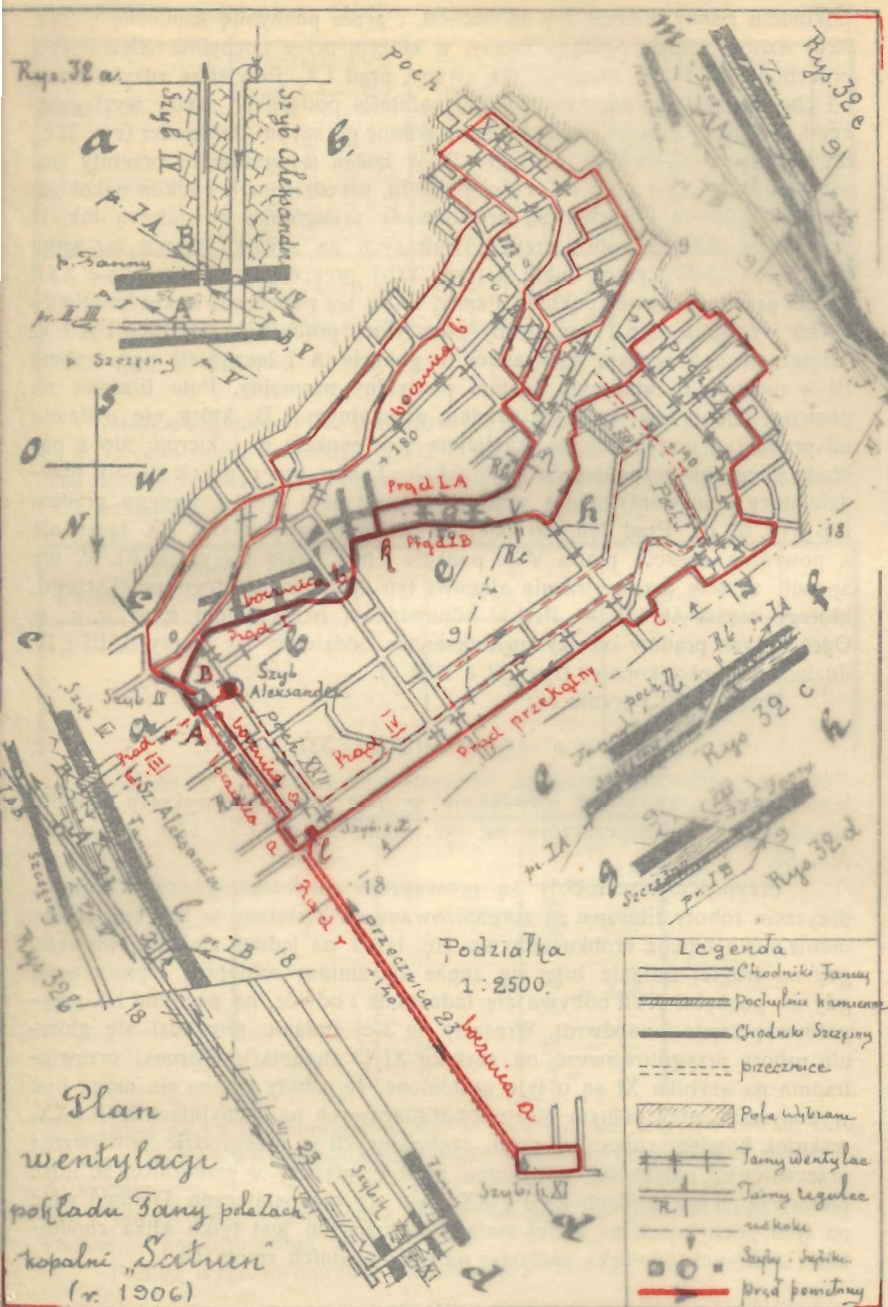
¹⁾ Zob. odsyłacz ¹⁾, str. 60.

²⁾ W pracach dawniejszych. we wzorach odpowiednich omyłkowo zostało wprowadzono $\sqrt{n}$, zamiast n^2 .

a) Sposoby bez udziału bocznicy c:						
Kąt, w którym leży punkt m (X' , Y')		Bocznice ulegające zwięźnaniu:		Wzory:		
I.	1)	a'	a b	IV	XV	XI
	2)	b	a' b'	III	XII	XVI
II.	1)	a'	a b	IV	XV	XI
	2)	a	a' b'	I	XVIII	X
III.	1)	b'	a b	II	IX	XVII
	2)	a	a' b'	I	XVIII	X
IV.	1)	b'	a b	II	IX	XVII
	2)	b	a' b'	III	XII	XVI
b) Sposoby przy udziale bocznicy c:						
I.	1)	c	a b	VI	IX	XI
	2)	c	a' b'	V	XII	X
	3)	a	c b'	IX	XIII	X
	4)	a'	c b	XII	XIV	XI
II.	1)	c	a b	VI	IX	XI
	2)	a	c b'	IX	XIII	X
III.	1)	a	c b'	IX	XIII	X
IV.	2)	c	a' b'	V	XII	X
	2)	a	c b'	IX	XIII	X

§ 16. Przykład liczbowy¹⁾. Na rys. 32 przedstawiony jest teren, obejmujący część pokładu Fanny w polu zachodnim kopalni Saturn (z r. 1906), którego przewietrzanie stanowi system prosty przekątny. Prąd główny schodzi szybem „Aleksander“ i dzieli się pod nim w punkcie A na 2 części (rys. 32a i b): południową, tak zwany prąd I, oraz północną — prąd V. Pierwszy — przez pokład Szczęsny, zalegający w nieznacznej odległości pod

¹⁾ Przytaczamy ten sam przykład, który był umieszczony w Przeglądzie Górn.-Hutn. (1910) (w odcitce osobnej str. 34), lecz pełniej uzasadniony, gdyż w związku z tym przykładem regulowania dodatniego pozostają w rozdziale VII przykłady regulacji odjemnej i mieszanej, oraz przez porównanie ostatnich z regulacją dodatnią uwydatnia się ich ekonomiczne znaczenie. W tej postaci, w jakiej tu załączamy ten przykład, był podany w cytowanej pracy rosyjskiej autora.



Rys. 23.

pokładem Fanny, kieruje się na zachód, i przez pochylnię kamienną η (rys. 32c) wznosi się do pokładu Fanny, w którym przez pochylnie XXV i XVII przechodzi na filary, tworząc, tak zwany, prąd I A. Powietrze zużyte wraca na chodnik podstawiony 0-0, i tym ostatnim podąża do szybu wyciągającego IV. Drugi prąd (V) kieruje się na północ od szybu Aleksander (rys. 32b) do przecznicy 23-23 (500 m długości). W końcu tej przecznicy przebity jest szybik ślepy XI w górę do części pokładu, przedzielonej wielkim uskokiem (18). Przecznica i szybik są przedzielone przegórką powietrzną tak, iż prąd V po obejściu robót przygotowawczych na szybiku wraca tą samą przecznicą 23-23 i przez duklę x (rys. 32b) przechodzi na pochylnię XXII części przeduskokowej pokładu Fanny, którą też podchodzi bezpośrednio do szybu wyciągającego IV ze strony przeciwnej prądu I A. Bocznice I A i V, dzieląc się pod szybem Aleksander w punkcie A i łącząc się pod szybem IV w punkcie B, stanowią system podwójny normalny. Pole filarów na pochylni XX przewietrza się prądem przekątnym I B, który się oddziela od prądu I A pod pochylnią kamienną η w punkcie K i kieruje się z pokładu Szczęśny bezpośrednio do pokładu Fanny przez uskoki (9-9), przedzielający pole wentylowane prądem I A od pola wentylowanego prądem I B (rys. 32 d). Prąd ten, po obejściu filarów na pochylni XX łączy się z powrotną częścią prądu V w punkcie I nad duklą x (rys. 32 b). W ten sposób system przewietrzania stanowi typ systemu prostego przekątnego, którego części Ak, kB, Al, lB i kl odpowiadają oznaczeniom b , b' , a , a' , c . Oprócz tych prądów od szybu Aleksander oddzielały się prądy II, III i IV do innych części kopalni (rys. 32 a i 32 e).

Opory tych bocznic są:

$$a = 481^1), a' = 51, b = 12, b' = 337, c = 721.$$

Jest to system, który był rozwiązany w § 2, a którego wykresy hiperbol zasadniczych są umieszczone na rys. 30...: zatem $X = 1,29$, $Y = 1,71$, $M = 67$.

Przypuśćmy, że roboty są prowadzone na 3 ośmiogodzinne zmiany, przyczem roboty filarowe są zorganizowane na 2 zmiany w ten sposób, że ładowanie i odwóz urobku odbywa się tylko na jednej zmianie, podczas gdy na drugiej zmianie bije się zapas dla zmiany następnej. Oprócz tego, gdy na pochylni XVII odbywa się ładowanie i odwóz, na pochylni XX przygotowują zapas i naodwrot. Wreszcie na 3-ej zmianie prowadzi się głównie roboty przygotowawcze na szybiku XI (3 chodniki). Warunki przewietrzania na szybiku XI są o tyle utrudnione, że roboty na nim nie mogą być wykonywane przy pełnym biegu robót filarowych na pochylniach XVII i XX, wskutek bowiem znacznych strat, zachodzących w przegrodzie powietrznej przecznicy 23, należy tak wzmacniać prąd V, płynący w przecznicy, że ilość powietrza na pochylniach XVII i XX staje się niedostateczną. Dlatego więc na tych pochylniach na 3-ciej zmianie obłożonych jest tylko kilka chodników, z których odwózka zachodzi na odpowiednich zmianach.

¹⁾ Opór $a = 481$ uwzględnia straty zachodzące w przepierzeniu bocznic 23 i szybiku XI.

Ułożmy następującą tabelkę obłożenia robót na różnych zmianach.

Zmiana	Pochylnia XVII (prąd I A — b')					Pochylnia XX (prąd I B — c)					Szybik XI (prąd V — a)					Wszystkich ludzi
	Chodników	Filarów	Górników	Pomocnik.	Razem	Chodników	Filarów	Górników	Pomocnik.	Razem	Chodników	Filarów	Górników	Pomocnik.	Razem	
I.	—	6	24	3	27	—	4	12	27	39	—	—	—	—	—	66
II.	—	6	18	40	58	—	4	16	3	19	—	—	—	—	—	77
III.	4	—	8	3	11	2	—	4	3	7	3	—	6	8	14	32

Jeżeli uwzględnimy, że w prądzie V przez przegródkę powietrzną traci się 75% całej ilości powietrza tak, iż do przodków dochodzi tylko 25%, wówczas ilości powietrza w osobnych bocznicach winny być proporcjonalne do liczb następujących:

bocznica zmiana	b' prąd I A	c prąd I B	a prąd V	
I.	27	39	—	66
II.	58	19	—	77
III.	11	7	56	74

oraz stosunki X' , Y' winne być ustalone na każdej zmianie następująco:

Zmiana	$X' = \frac{qa}{q_c}$	$Y' = \frac{qb'}{q_c}$
I.	—	$\frac{27}{39} = 0,69$
II.	—	$\frac{58}{19} = 3,05$
III.	$\frac{56}{7} = 8$	$\frac{11}{7} = 1,57$

Stąd na I i II zmianie stosunki X' są obojętne, lecz nie równe zero, ponieważ na tych właśnie zmianach głównie zachodzi oczyszczanie powietrza na szybiku.

Wobec tego, uregulowanie stosunków na I i II zmianie może być wykonane za pomocą jednej tamy.

Podług wykresu hiperbol widzimy (rys. 30), że

na 1-szej zmianie $Y' = 0,69 < Y = 1,71$,

na 2-giej zmianie $Y' = 3,05 > Y = 1,71$.

Stąd wynika, że na 1-ej zmianie możemy uregulować powietrze jedną tamą w bocznicy b' , gdyż, zwężając ją, zmusimy hiperbolę C_2 do przesunięcia się ku dołowi na tyle, że przecnie ona hiperbolę C_1 w punkcie $Y' = 0,69$, czemu będzie odpowiadało $X' = 1,26$. Dla drugiej zmiany musimy mieć tamę w a' ; przez zwężenie okienka w tej tamie zmusimy hiperbolę C_2 przechylić się do góry tak, iż przecnie ona hiperbolę C_1 w punkcie $Y' = 3,05$, i odpowiednio (z rysunku) $X' = 1,38$. Jednakże, ponieważ przy obliczeniu oporu bocznicy b' została uwzględniona istniejąca w niej tama regulacyjna z okienkiem o oporze 271 tak, iż właściwie hiperbole (rys. 30) nie odpowiadają wolnym zupełnie bocznicom, i opór wolnej bocznicy w rzeczywistości jest $337 - 271 = 66$. Przeto również na zmianie drugiej mamy spełniony warunek $Y' < Y$, rzeczywista bowiem półoś hiperboli C_2 w tym przypadku jest

$$b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{721}{66}} = 3,3 > Y' = 3,05,$$

a więc Y rzeczywiste jest o wiele większe od Y' , i stosunek żądany może być ustalonym tąż samą tamą w b' . Dla określenia oporów tam regulacyjnych posługujemy się wzorem II, do którego zamiast X' wstawimy wielkości znalezione z wykresu. W ten sposób:

$$\text{na 1-ej zmianie: } \mu_{b'} = \frac{a'(X' + 1)^2 + c}{(Y')^2} - b' = \frac{51(2,26)^2 + 721}{(0,69)^2} - 66 = 1988,$$

$$\text{na 2-ej zmianie: } \mu_{b'} = \frac{51(2,38)^2 + 721}{(3,05)^2} - 66 = 43,$$

i podług (81) § 11:

$$\frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 S \sqrt{\mu},$$

przyjmując $S = 12$:

$$\frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 \cdot 12 \sqrt{1988} = 45,2 \quad \text{na 1-ej zmianie,}$$

$$\frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 \cdot 12 \sqrt{43} = 7,2 \quad \text{na 2-ej zmianie.}$$

Wielkości okienek są więc:

$$s_1 = \frac{12}{45,2} = \underline{0,276 \text{ m}^2},$$

$$s_2 = \frac{12}{7,2} = \underline{1,67}.$$

Na trzeciej zmianie musimy dokładnie ustalić obydwa stosunki $X' = 8$ oraz $Y' = 1,57$. Ponieważ z rysunku hiperbol zasadniczych widać, że punkt ten leży w kącie IV, przeto na podstawie rys. 28 i 29 stwierdzimy, że należy zwężać b', b lub c, b' . Gdybyśmy nie mieli rysunku hiperbol zasadniczych, wówczas jednak, znając z pomiarów anemometrycznych prawdziwe stosunki $X = 1,39$ oraz $Y = 1,69$, oraz widząc, że $X' = 8 > X = 1,39$, a $Y' = 1,57 < Y = 1,69$, na podstawie tabelki § 12 (str. 54) moglibyśmy twierdzić, że punkt $m(X', Y')$ leży w kącie IV, a zatem na podstawie tejże tabelki lub

rys. 28, 29, moglibyśmy z całą pewnością twierdzić, że należy zwięzać b' , b lub c , b' .

Jeżeli chodzi o wybór najstosowniejszego sposobu regulacji z dwu możliwych, to musimy uwzględnić warunki lokalne. Otóż bocznicą b jest chodnikiem przewozowym pokładu Szczęśny, w którym zachodzi odstawa wózków z tego pokładu, przeto przegrodzenie drogi odstawowej przez tamę regulacyjną jest niewygodne; wygodniej jest zbudować tamę regulacyjną na początku bocznicą przekątną (rys. 32), tutaj bowiem nie trudno znaleźć takie wyrobiska, w których niema żadnego odwozu urobku. W bocznicę b' , oczywiście, skorzystamy z tamy już w niej istniejącej. Opór dodatkowy μ_c określamy podług wzoru V:

$$\mu_c = a(X')^2 - b(Y' + 1)^2 - c = 481(8)^2 - 12(2,57)^2 - 721 = 29984,$$

poczem podług wzoru II, zwiększając c o μ_c , otrzymujemy:

$$\mu_{b'} = \frac{a'(X' + 1)^2 + (c + \mu_c)}{(Y')^2} - b' = \frac{51,9^2 + 30705}{(1,57)^2} - 66 = 14038.$$

Wreszcie podług (80) § 11:

$$\frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 S \sqrt{\mu},$$

przyjmując $S_c = 4$, oraz $S_{b'} = 12$:

$$\frac{S_c}{s_c} = 0,65 + 0,082 \cdot 4 \sqrt{29984} = 58,2$$

$$\frac{S_{b'}}{s_{b'}} = 0,65 + 0,082 \cdot 12 \sqrt{14038} = 119,$$

stąd:

$$s_c = \frac{4}{58,2} = 0,069 \text{ m}^2,$$

$$s_{b'} = \frac{12}{119} = 0,101 \text{ m}^2.$$

W ten sposób, po zbudowaniu w chodniku bocznicę b' o przekroju $12 \text{ m}^2 = (3,5 \times 3,5)$ tamy regulacyjnej Rb' (rys. 32) z okienkiem $1 \times 2 \text{ m}$ oraz w c , chodniku $2 \times 2 \text{ m}$, tamy Rc z okienkiem $0,5 \times 0,5$ w drzwiach, należy:

	W bocznicę c	W bocznicę b'
Na 1-ej zmianie	otworzyć drzwi zupełnie	odsunąć zasuwę na 28 cm.
„ 2-ej „	„ „ „	„ „ 1'67 „
„ 3-ej „	zamknąć drzwi i otworzyć zasuwę na 14 cm.	„ „ 10 „

Określimy opór ogólny i ilości powietrza na każdej zmianie, licząc, że z szybu Aleksander całą ilość powietrza płynie do szybu IV pod depresją 40 mm. Ponieważ bocznicę a i a' na wszystkich zmianach pozostają wolne, przeto najwygodniejszym do określenia oporu jest wzór (8) § 1:

$$M = \frac{a(X')^2 + a'(X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2}.$$

Na zmianie 1-ej:

$$M_1 = \frac{481 (1,26)^2 + 51 (2,26)^2}{(1,26 + 0,69 + 1)^2} = 118,$$

na zmianie 2-ej:

$$M_2 = \frac{481 (1,38)^2 + 51 (2,38)^2}{(1,38 + 3,05 + 1)^2} = 41,$$

na zmianie 3-ej:

$$M_3 = \frac{481 (8)^2 + 51 (9)^2}{(8 + 1,57 + 1)^2} = 329.$$

Dodając opór szybów $M_s = 177$, otrzymamy ostatecznie:

$$M_1 = 295, \quad M_2 = 218, \quad M_3 = 506.$$

Ogólna ilość powietrza na sekundę wynosi:

$$\text{na zmianie 1-ej: } Q_1 = \sqrt{\frac{40 \cdot 1000}{295}} = 11,65 \text{ m}^3,$$

$$\text{„ „ 2-ej: } Q_2 = \sqrt{\frac{40 \cdot 1000}{218}} = 13,55 \text{ „}$$

$$\text{„ „ 3-ej: } Q_3 = \sqrt{\frac{40 \cdot 1000}{506}} = 8,90 \text{ „}$$

Następująca tabelka uwidoczni rozdział tych ilości powietrza odpowiednio do stosunków X' , Y' , jak również ilości, przypadające na człowieka w minutę:

Zmiana	W bocznicy b' pr. IA, poch. XVII		W bocznicy c pr. IB, poch. XX		W bocznicy a pr. V, Szybik XI		Razem	
	cała ilość w sek.	na 1 czł. w min.	cała ilość w sek.	na 1 czł. w min.	cała ilość w sek.	na 1 czł. w min.	cała ilość w sek.	na 1 czł. w min.
I.	2,72	6,06	3,95	6,07	4,98	—	11,65	(10,6)
II.	7,60	7,90	2,50	7,90	3,45	—	13,55	(10,6)
III.	1,32	7,14	0,84	7,18	6,74	7,22	8,90	7,2

Przypuśćmy, że na 3-ej zmianie, gdy roboty są przeważnie obłożone na szybiku XI, filary zaś są zastawione, roboty główne wydobywcze są przeniesione do innych części kopalni, przewietrzanych przez prądy II, III i IV. Wskutek tego podział ogólny powietrza na system przekątny prądów I, V i pozostałe musi być zmienionym tak, iżby na te inne prądy przypadło więcej powietrza. Przypuśćmy dalej, iż z obliczenia wypada, że dla należytego ustosunkowania powietrza pomiędzy systemem (I, V), a prądami pozostałymi należy zwiększyć opór całego systemu (I, V) włącznie z szybem IV do $M = 1089$. Ponieważ w samym szybie nie można ustawiać tamy regulacyjnej, przeto winniśmy zwiększyć opór systemu przekątnego z 329 do $(1089 - 177) = 912$ przy zachowaniu stosunków $X' = 8$, $Y' = 1,57$. Mamy zatem zadanie regulowania całkowitego, przy którym wszystkie tamy winny być umieszczone wewnątrz systemu.

Zastosowując sposób uniwersalny regulowania za pomocą trzech tam a, c, b' , możemy, nie troszcząc się o pozycję punktu $m(X'Y')$ względem hiperbol zasadniczych, określić bezpośrednio opory dodatkowe tam regulacyjnych na podstawie tabelki § 15 podług wzorów IX, XIII i X:

$$\text{podług IX: } \mu_a = \frac{M'(X' + Y' + 1)^2 - a'(X' + 1)^2}{(X')^2} - a = \\ = 912 \left(\frac{10,57}{8} \right)^2 - 51 \left(\frac{9}{8} \right)^2 - 481 = \underline{1046},$$

$$\text{podług XIII: } \mu_c = M'(X' + Y' + 1)^2 - a'(X' + 1)^2 - b(Y' + 1)^2 - c = \\ = 912 (10,57)^2 - 12 (9)^2 - 12 (2,57)^2 - 72 = \underline{96859},$$

$$\text{podług X: } \mu_{b'} = \frac{M'(X' + Y' + 1)^2 - b(Y' + 1)^2}{(Y')^2} - b' = \\ = 912 \left(\frac{10,57}{1,57} \right)^2 - 12 \left(\frac{2,57}{1,57} \right)^2 - 66 = \underline{41238}$$

i dalej podług (80) § 12, przyjmując $S_a = 6$, $S_c = 4$ i $S_{b'} = 21$:

$$\frac{S_a}{s_a} = 0,65 + 0,082 \cdot 6 \sqrt{1046} = \underline{16,7},$$

$$\frac{S_c}{s_c} = 0,65 + 0,082 \cdot 4 \sqrt{96859} = \underline{104},$$

$$\frac{S_{b'}}{s_{b'}} = 0,65 + 0,082 \cdot 12 \sqrt{41238} = \underline{203}.$$

Skąd:

$$s_a = \frac{6}{16,7} = 0,360 \text{ m}^2 = 0,72 \times 0,50,$$

$$s_c = \frac{4}{104} = 0,038 \text{ m}^2 = 0,076 \times 0,50,$$

$$s_{b'} = \frac{12}{203} = 0,059 \text{ m}^2 = 0,059 \times 1,00.$$

Jeżeli chcemy skorzystać z różnorodności możliwych sposobów regulowania w systemie przekątnym, musimy zwrócić uwagę na stronę praktyczną danego sposobu.

Nie trudno spostrzedz, że umieszczenie tamy regulacyjnej w bocznicy a (rys. 32) nie jest bardzo wygodne. Tutaj tama może być zbudowaną jedynie w przecznicy 23, pomiędzy szybem a dukłą x , w przeciwnym bowiem przypadku część powietrza, przesączająca się w przepierzeniu, nie ulegałaby regulacji. W części zaś wolnej od przepierzenia ułożona jest droga, przeznaczona dla odstawy z szybiku, i wobec tego też nie jest wygodnem budować tutaj tamę regulacyjną. Dlatego więc, chcąc zastosować jakikolwiek bądź inny sposób regulowania, należy określić miejsce, zajmowane przez punkt $m(X'Y')$ względem hiperbol zasadniczych, co w sposobie uniwersalnym było zbyteczne.

Ponieważ wiemy na zasadzie pomiarów anemometrycznych, że $X = 1,29$, $Y = 1,71$, przeto, widząc, że:

$$X' = 8 > X = 1,29, \text{ oraz } Y' = 1,57 < Y = 1,71,$$

na podstawie tabelki § 12 utrzymujemy, że punkt (X', Y') leży w kącie IV, ua podstawie zaś tabelki § 15 możemy zastosować sposoby:

bez udziału c :

$$1) b', a, b,$$

$$2) b, a', b',$$

przy udziale c :

$$3) a, c, b' \text{ (uniwersalny),}$$

$$4) c, a', b'.$$

Z tych sposob 1-y nie usuwa tamy regulacyjnej z a ; sposób 2-gi zawiera tamę regulacyjną w b , chodniku przewozowym pokładu Szcęsny, więc również w miejscu niedogodnym. Sposób 3-ci jest uniwersalny; wreszcie sposób 4-ty: c, a', b' , przenosi tamę regulacyjną z bocznicy a do bocznicy a' , t. j. na rys. 32 i 32 b do chodnika IB w pokładzie Fanny pomiędzy dukłą x a szybem IV. Chodnik ten jest bezwarunkowo wygodniejszy dla umieszczenia w nim tamy regulacyjnej, która, znajdując się tutaj w miejscu ustronnem, nie przeszkadza żadnym pracom w kopalni i jest zabezpieczoną przed przypadkowemi przesunięciami zasuwy przez ludzi przechodzących, gdyż chodnik IB nie jest nawet przechodowym dla robotników.

Wzory, które służą dla określenia oporów tam regulacyjnych, znajdujemy w tabelce § 15; są to V, XII i X. Tak więc:

$$\text{podług V: } \mu_c = a(X')^2 - b(Y+1)^2 - c = 481 \cdot 8^2 - 12(2,57)^2 - 720 = 29,884$$

$$\text{" XII: } \mu_a' = \frac{M'(X' + Y' + 1)^2 - a(X')^2}{(X' + 1)^2} - a' =$$

$$= 912 \left(\frac{10,7}{9} \right)^2 - 481 \left(\frac{8}{9} \right)^2 - 51 = 947,$$

$$\text{" X: } \mu_b = \frac{M'(X' + Y' + 1)^2 - b(Y' + 1)^2}{(Y')^2} - b' =$$

$$= 912 \left(\frac{10,7}{1,58} \right)^2 - 12 \left(\frac{2,57}{1,57} \right)^2 - 66 = 41238$$

i dalej podług (80) § 11, przyjmując $S_a' = 4$:

$$\frac{S_c}{s_c} = 0,65 + 0,082 \cdot 4 \sqrt{29884} = 58; \quad s_c = \frac{4}{58} = 0,069 \text{ m}^2 = 0,138 \times 0,50.$$

$$\frac{S_a'}{s_a'} = 0,65 + 0,082 \cdot 4 \sqrt{947} = 11; \quad s_a' = \frac{4}{11} = 0,360 \text{ m}^2 = 0,73 \times 0,50,$$

$$\frac{S_b'}{s_b'} = 0,65 + 0,082 \cdot 12 \sqrt{41238} = 203; \quad s_b = \frac{12}{203} = 0,059 \text{ m}^2 = 0,059 \times 1,00.$$

$$\text{Ogólna ilość powietrza: } Q = \sqrt{\frac{40 \cdot 1000}{1089}} = 6 \text{ m}^3.$$

$$q_a = \frac{Q \cdot X}{X + Y + 1} = \frac{6 \cdot 8}{10,57} = 4,55; \quad q_c = \frac{Q}{X + Y + 1} = 0,57;$$

$$q_b' = \frac{Q \cdot Y}{X + Y + 1} = 0,88.$$

ROZDZIAŁ IV.

SYSTEMY PRZEKĄTNE OBRÓCONE.

§ 17. Zjawisko obrócenia się prądów przekątnych.

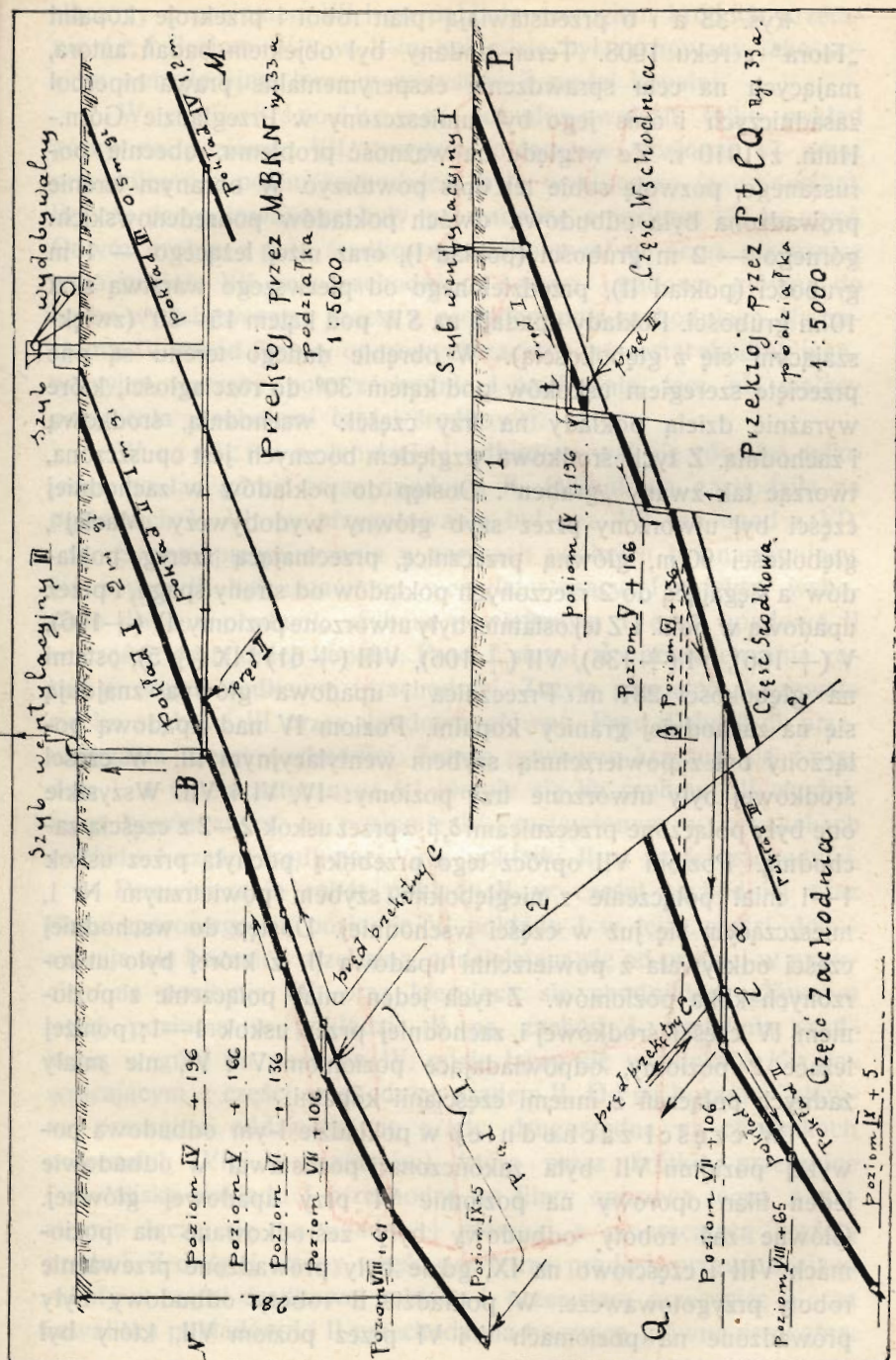
Osobliwością specjalną prądów przekątnych jest możliwość zmiany ich kierunku przy zachowaniu ogólnego prądu w całym systemie w kierunku pierwotnym. Widzieliśmy, że ruch powietrza w bocznicy przekątnej c ustaje, gdy uzyskamy równość $\frac{a}{b} = \frac{a'}{b'}$, np. przez odpo-

wiednie zwiększenie oporów bocznic a', b i że dalsze powiększenie oporu b lub a' powoduje zmianę kierunku prądu w c .

Właściwość taka z jednej strony jest wygodną, gdyż w zależności od ugrupowania robót zezwala pokierować w bocznicy przekątnej prąd w kierunku dowolnym. W żadnym układzie normalnym takie dowolne pokierowanie prądu bez zmiany ruchu wentylatora, to znaczy bez zmiany kierunku prądu w całym systemie, jest niemożliwym.

Lecz z drugiej strony, możliwość zmiany kierunku prądu w bocznicy przekątnej jest niebezpieczną i tę okoliczność należy podkreślić najsilniej, by nie uszła uwagi praktyków. W zależności od nie zawsze widocznego i zrozumiałego ustosunkowania oporów bocznic przyległych i bardziej odległych, zwłaszcza w systemach złożonych, prądy przekątne mogą zupełnie nieoczekiwanie zmieniać swój kierunek. Jakiegokolwiek bądź nowe połączenia wyrobisk, lub raptownie zaszłe zawały w zupełnie innych częściach kopalni mogą łatwo spowodować zupełnie nieoczekiwane obrócenie się prądu przekątnego, co w kopalniach gazowych lub ulegających częstym pożarom jest absolutnie niedopuszczalnym.

Słuszność tego twierdzenia można najlepiej wyjaśnić na przykładzie.



Rys. 33 b.

Rys. 33 a i b przedstawiają plan robót i przekroje kopalni „Flora” z roku 1908. Teren podany był obiektem badań autora, mających na celu sprawdzenie eksperymentalne prawa hiperbol zasadniczych i opis jego był umieszczony w Przeglądzie Górn.-Hutn. z 1910 r. Ze względu na ważność problemu, obecnie poruszanego, pozwolę sobie ten opis powtórzyć. W obranym terenie prowadzona była odbudowa dwóch pokładów podredenowskich: górnego — 2 m grubości (pokład I), oraz niżej leżącego — 1 m grubości (pokład II), przedzielonego od pierwszego warstwą skał 10 m grubości. Pokłady upadają na SW pod kątem 15—30° (zwiększającym się z głębokością). W obrębie danego terenu są one przecięte szeregiem uskoków pod kątem 30° do rozciągłości, które wyraźnie dzielą pokłady na trzy części: wschodnią, środkową i zachodnią. Z tych środkowa względem bocznych jest opuszczona, tworząc tak zwany „graben”. Dostęp do pokładów w zachodniej części był utworzony przez szyb główny wydobywczy „Maciej”, głębokości 90 m, główną przecnicę, przecinającą szereg pokładów a sięgającą do 2 rzeczonych pokładów od strony spągu, i przez upadową w pokł. I. Z tej ostatniej były utworzone poziomy: IV (+ 196), V (+ 166), VI (+ 136), VII (+ 106), VIII (+ 61) i IX (+ 5), ostatni na głębokości 281 m. Przecznica i upadowa główna znajdują się na zachodniej granicy kopalni. Poziom IV nad upadową połączony był z powierzchnią szybem wentylacyjnym III. W części środkowej były utworzone trzy poziomy: IV, VI i VII. Wszystkie one były połączone przecznicami δ, β, α przez uskok 2—2 z częścią zachodnią. Poziom VII oprócz tego przebitką pochyłą przez uskok 1—1 miał połączenie z niegłębokim szybem powietrznym Nr I, mieszczącym się już w części wschodniej. Dostęp do wschodniej części odkrywała z powierzchni upadowa II, z której było utworzonych kilka poziomów. Z tych jeden miał połączenie z poziomem IV części środkowej i zachodniej przez uskok 1—1; poniżej leżące 2 poziomy, odpowiadające poziomom V i VI, nie miały żadnych połączeń z innymi częściami kopalni.

W części zachodniej w pokładzie I-ym odbudowa powyżej poziomu VII była zakończona; pozostawał w odbudowie jeden filar oporowy na poziomie VI przy upadowej głównej. Główne zaś roboty odbudowy były ześrodkowane na poziomach VIII i częściowo na IX, gdzie były prowadzone przeważnie roboty przygotowawcze. W pokładzie II roboty odbudowy były prowadzone na poziomach V i VI przez poziom VII, który był

złączony z poziomem VII I-go pokładu szeregiem krótkich przecznic *d, e, f*. Poziom IV-y w II-im pokładzie był zachowany jako poziom wentylacyjny, łączący wszystkie 3 części kopalni.

W części środkowej odbudowywał się tylko pokład górny na poziomie VII, przytem połączenie poziomu VI przez przecznicę β z polem zachodniem było wykluczone (zarabowane). Roboty przygotowawcze były prowadzone z poziomu VII na upad. Odwóz urobku z pola środkowego dokonywał się przez przecznicę α na poziom VII pola zachodniego i przez upadową główną do szybu wydobywczego, razem z urobkiem pola zachodniego. Na poziomie IV wśród filarów oporowych zachowany został chodnik wentylacyjny, łączący pole zachodnie i wschodnie, lecz nie mający połączenia z robotami części środkowej.

W części wschodniej odbudowywał się również tylko jeden pokład górny przez upadową II. Odbudowa zachodziła na poziomach V, VI; w przygotowaniu był poz. VII (na upad z VI).

System przewietrzania w zarysach ogólnych był następujący. Na szybie III był ustawiony wentylator ssący. Powietrze wchodziło dwoma prądami: szybem powietrznym I oraz upadową II w części wschodniej kopalni. Prąd I służył do przewietrzania robót w części środkowej i zachodniej. Zużyte powietrze kierowało się ku szybowi III przez upadową główną. Prąd II służył do przewietrzania części wschodniej. Zużyte powietrze krzyżuje się z prądem I w tunelu sztucznym *t* i kieruje się ku szybowi III chodnikiem powietrznym na poziomie IV, zostawionym w zawaliskach pokładu I części środkowej, oraz pokładu II w części zachodniej.

Przewietrzanie robót pokładu II w części zachodniej oraz filaru oporowego na poziomie VI pokładu I w tejże części dokonuje się boczną przekątną, oddzielającą się od prądu I w punkcie *l* na poziomie VII, oraz kierującą się chodnikiem głównym tegoż poziomu w pokładzie II na zachód i pochylnią środkową w górę do poziomu IV, gdzie łączy się w punkcie *K* z powracającym z części wschodniej prądem II. Od tej bocznej głównej przekątnej oddzielają się prądy drugorzędne na chodnikach pośrednich (VI i V poziomów), które przez krótkie przecznice i zawaliska pokładu I przechodzą na filary oporowe tegoż, a następnie łączą się na upadowej głównej z powracającą częścią prądu I. Z drugiej strony, część powietrza prądu I, przewietrzająca roboty w części środkowej pokładu I, przez starą przecznicę β oraz zawaliska pokładów I i II przechodzi na boczną główną przekątną.

W ten sposób, w zarysach ogólnych przewietrzanie kopalni przedstawia system prosty przekątny z boczną przekątną lk , lecz wskutek różnych połączeń drugorzędnych przez zawaliska tworzy się system przekątny złożony (rys. 34). Dla celów doświadczenia, które autor prowadził na tej kopalni, należało izolować wszystkie połączenia drugorzędne bocznic przekątnej lk z prądami głównymi przez chodniki pośrednie i zawaliska. Z powodów czysto

lokalnych wykonać tego nie było można inaczej, jak tylko przez zbudowanie dobrze zaopatrzonych gliną i wapnem tam izolacyjnych: 1) na chodnikach pośrednich zachodnich w pokładzie II (a, b, c), 2) w krótkich przecznicach, łączących chodniki główne obu pokładów na poziomie VII (d, e i f), 3) we wszystkich przecinkach między chodnikiem głównym i pochylnią a chodnikami równoległymi w części środkowej ($g, h, \dots$), izolując całkowicie pole robocze w części środkowej.

Przez zbudowanie rzeczonych tam system prosty przekątny wyrysował się nader wyraźnie (linie czerwone na rys. 33 a).

Zaszła jednak nieoczekiwana zmiana w kierunku prądu bocznicy przekątnej. Zamiast płynąć, jak poprzednio, z dołu do góry, powietrze popłynęło po zbudowaniu tam od K ku I , t. j. z góry na dół. W ten sposób po wykluczeniu wpływów prądów przekątnych drugorzędnych ujawniło się, że opór krótkiego, lecz wąskiego chodnika wentylacyjnego kB o tyle jest większym od oporu długiej, lecz wielce rozgałęzionej bocznicy IB , iż pomimo pozornej oczywistości, prąd powietrza w bocznicy przekątnej kl płynie w kierunku przeciwnym spodziewanemu. Takie zjawisko, możliwe tylko w bocznicach przekątnych, zależy od ustosunkowania oporów bocznic przyległych (a/b i a'/b'), których oszacowania bez obrachunku wykonać nie podobna. Czy wystarczyłoby dla obrócenia prądu wykluczenie tylko prądu płynącego przez przeczynę β , lub tylko zabezpieczenie od uciezek na upadową główną, czy też koniecznem było jednoczesne wykluczenie obu wpływów, również bez obrachunku orzec nie podobna. W każdym razie można przypuścić, że izolowanie upadowej jeszcze nie spowodowałoby obrócenia się prądu, a dopiero stałoby się to możliwem po izolowaniu

prądu z przecznicy β . Przypuśćmy zatem, że przy upadowej niema żadnych robót, i że wszystkie zawaliska od tej strony są szczelnie izolowane tamami hermetycznymi. Przypuśćmy następnie, że w polu środkowym na robotach poziomu VII powstaje pożar. Dążąc wówczas do izolowania tego pola, zapewne zbudowalibyśmy wszystkie tamy $g, h, \dots$, jak to było podczas doświadczenia; przytem zgodnie z zasadami ogólnymi, budując te tamy, posuwalibyśmy się za prądem świeżego powietrza od szybu I. Ostatnią tamę postanowilibyśmy zbudować oczywiście w prądzie wylotowym, t. j. w chodniku pośrednim pokładu II wschodnim (na poziomie VI), który przez przecznice β łączy się z polem zaognionem. Podeszlibyśmy do tego miejsca, oczywiście po zbudowaniu wszystkich tam w części środkowej, przez przecznice α , chodnik główny pokładu II na poziomie VII części zachodniej, wreszcie pochylnią do góry, mniemając, że posuwać się będziemy w prądzie świeżego powietrza. Tymczasem, jak pokazuje doświadczenie, po wejściu na chodnik główny II-go pokładu poziomu VII spotkalibyśmy prąd naprzeciw siebie, oczywiście zagazowany. Nie spodziewając się tego, łatwo moglibyśmy uleść katastrofie.

Gdybyśmy w obawie powstawania pożarów w zawaliskach, zechcieli szczelnie izolować wszelkie prądy uboczne i osiągnęli ten cel przez dokładne obetonowanie upadowej głównej, oraz przez zbudowanie hermetycznej tamy murowanej w przecznicy β , dokąd, być może, udałoby się nam przedostać po rozcyszczeniu chodnika poziomu VI w II-im pokładzie, to, jak wskazuje doświadczenie, obrócilibyśmy przez te zarządzenia prąd w przekątni. Wyzwoliwszy się zatem z jednej niewygody, mielibyśmy inną: w pokładzie drugim mielibyśmy prąd opuszczający się, nie zaś wznoszący się, wymagany przepisami i logiką; nadto 3 pola robocze: pole wschodnie, pole zachodnie pokładu I na poziomach VIII i X, oraz pole zachodnie pokładu II na poziomach VI i V, z których przedtem każde miało prąd niezależny (abstrahując od robót w polu środkowym), stanęłyby teraz w jednym wspólnem połączeniu, i wszelki pożar w odległej części wschodniej zostałby odczuty natychmiast w obydwu pokładach pola zachodniego.

Zupełnie zrozumiałe, że nowy kierunek prądu może również nagle i niespodziewanie odmienić się, jeżeli zajdą nowe zawały w wyrobiskach II pokładu, przez które ustali się połączenie z niezbyt szczelnymi zawałami pokładu I. Gdyby kierunek pierwotny wznoszący się udało się nam zabezpieczyć przez odpowiednie tamy regu-

lacyjne, to i wówczas nie mielibyśmy żadnej gwarancji, że prąd nagle nie obróci się wskutek np. otwarcia drzwi w tamach wentylacyjnych, znajdujących się w przecinkach, łączących chodniki główne obu pokładów na poziomie VII; albo wskutek utworzenia olbrzymich niezawalonych pod mocnym piaskowcem komór w obrębie robót filarów na VII i IX poziomach w I-ym pokładzie; wreszcie wskutek częstych rabunków, zachodzących w starym chodniku wentylacyjnym *kB* i wskutek jego ciągłej przebudowy, zwężającej stale przekrój chodnika w miejscu, gdzie daje się obserwować stałe ciśnienie i t. d.

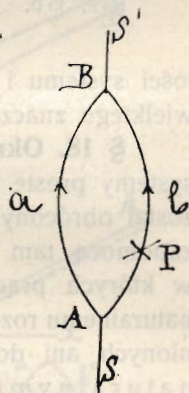
Podobne zjawisko autor miał możność obserwować i na innych kopalniach. Na kopalni Saturn w polu zachodnim w r. 1906, gdzie istniał nadzwyczaj złożony system o wielu prądach przekątnych (patrz plan w Przeglądzie Górn.-Hutn. 1909), w czasie różnych prób należytego uregulowania ilości powietrza zapomocą tam regulacyjnych na jednej z pochyliń w związku z tłumieniem pożaru, zaszło zupełne zatrzymanie się prądu, oraz w ślad zatem jego obrócenie się w jednej z bocznic przekątnych. Mianowicie: przy zmniejszeniu ilości powietrza w prądach III i I zapomocą tam regulacyjnych, ustawionych w bocznicach *Bc* i *Bx* w celu otrzymania większej ilości powietrza w prądzie II A, gdzie na filarach pokładu Szczęsny wybuchł ogień, zaszło obrócenie się prądu I C, który przewietrzał roboty filarowe na odległej pochylni XXIII w pokładzie Fanny. Wskutek tego, najpierw ze starych wyrobisk wyłonił się kwas węglowy, i roboty musiały być zatrzymane, a wkrótce potem w pobliżu punktu *C* były spostrzeżone gazy pożarowe, które częściowo przedostały się tutaj z pola izolowanego w kierunku prądu obróconego, zamiast żeby się kierowały bezpośrednio do szybu wyciągającego.

Wreszcie, by uświadomić sobie całą powagę problemu obrócenia się prądów przekątnych, wystarczy przypomnieć wypadek uduszenia się 38-iu górników na kopalni Reden w czasie akcji przeciwpożarowej w roku 1922, gdzie bezpośrednim powodem katastrofy, pomimo wszelkich innych okoliczności, towarzyszących i sprzyjających rozwojowi pożaru, było właśnie obrócenie się prądu w bocznicę przekątną, płynącą przez miejsce pożaru. Właśnie w czasie pożaru w kopalni niebezpieczeństwo, tkwiące w bocznicach przekątnych, jest bardzo wielkie.

Zmiana kierunku bezpośrednio zależy od zmiany w spadkach ciśnienia w punktach krańcowych bocznic. W przytoczonych wy-

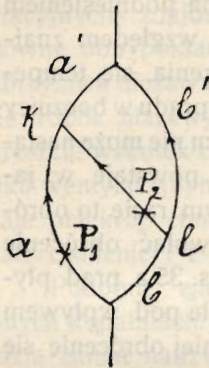
żej przykładach z kopalni Flora i Saturn te zmiany w ciśnieniach spowodowane były przez zmiany oporów bocznic przyległych. Lecz zmiana ciśnienia może być również uwarunkowana podniesieniem się temperatury w wypadku pożarów. Pod tym względem znajdujące się w określonym rozwoju źródło podwyższenia się temperatury bez porównania łatwiej spowoduje obrócenie prądu w bocznicę przekątną, aniżeli normalnej. W systemie normalnym nie może nastąpić obrócenie się powietrza wcale, jeżeli pożar powstaje w jakiegokolwiek bądź bocznicę poszczególnej, i w każdym razie to obrócenie się prądu w bocznicę normalnej musi wywołać obrócenie się prądu w całym systemie. Istotnie, jeżeli na rys. 35 a prąd płynie zwykle w kierunku od A ku B , wówczas, o ile pod wpływem pożaru w punkcie P bocznic AbB nastąpiło w niej obrócenie się prądu, to dowodziłoby to, że w tym momencie ciśnienie w A stało się mniejsze, niż w B , a w takim razie i prąd w bocznic AaB powinien również płynąć od B ku A . Jeżeli zaś w obydwu bocznicach płynie powietrze w kierunku przeciwnym, to i w szybach S i S' powietrze nie może nie płynąć w tym samym kierunku.

Rozumowanie to dowodzi, że pożar wynikły w jednej z bocznic układu normalnego dopiero wówczas spowoduje zmianę kierunku prądu, kiedy powstałe warunki termiczne przewyższą całkowitą różnicę ciśnień (depresję), jaka istniała pomiędzy wylotami obydwu szybów przed powstaniem pożaru. Tymczasem w systemie przekątnym wystarczy przewyższyć tylko tę różnicę ciśnień, która istnieje na końcach bocznic przekątnej, a która stanowi tylko pewien ułamek depresji ogólnej, bardzo często nadzwyczaj nikły. Zatem oczywiście, że też sama przyczyna, ognisko tej samej siły, bez porównania łatwiej i prędzej spowoduje obrócenie się prądu w bocznicę przekątną, aniżeli w bocznicę normalnej. Zupełnie zrozumiałe też, że pożar niekoniecznie ma powstać w samej bocznicę przekątnej; powstanie pożaru w bocznic b' lub a może wywołać toż samo zjawisko (rys. 35 b). Zwłaszcza przykrem może być pożar w bocznic a , gdyż powodując dopływ nadmiaru powietrza do a z szybu, zmusza potem zwiększoną ilość gazów po wyjściu z ogniska do rozdzielania się na bocznic a' i przekątną c w kierunku odwrotnym, w skutku czego może zajść katastrofa



Rys. 35 a.

uduszenia się w c i b' , gdzie ludzie mogliby pozostawać w przypuszczeniu, że są w prądach świeżego powietrza. Najtragiczniejszy los byłby ludzi, znajdujących się w b' , zaskoczeni bowiem przez gazy od dołu, nie mieliby również wyjścia do góry.



Rys. 35 b.

Tak więc, prądy w bocznicach przekątnych nie mają trwałego kierunku, i w tem tkwi niebezpieczeństwo systemów przekątnych. Jedynym radykalnem wyjściem z trudnego położenia byłoby możliwe unikanie tworzenia połączeń przekątnych. Ponieważ jednak w wielu przypadkach praktyki połączenia przekątne są nieuniknione, przeto też teoretyczne ujęcie problemu obrócenia, wywołania zjawiska tego w żądanym stopniu ad libitum, wyjaśnienie trwa-

łości systemu i warunków, od których to może zależeć, nabiera wielkiego znaczenia praktycznego.

§ 18. Określenia. Będziemy nazywali o b r ó c o n e m i takie systemy proste przekątne, w których prąd w bocznicy przekątnej został obróconym przez odpowiednie uregulowanie oporów, bądź zapomocą tam regulacyjnych, bądź innemi sposobami. Systemy, w których prąd przekątny płynie w kierunku, odpowiadającym naturalnemu rozdziałowi powietrza w bocznicach wolnych, niezmiennych ani dodatnią ani ujemną regulacją, będziemy nazywali n a t u r a l n y m i. Z tego określenia wynika, że systemy obrócone o bocznicach wolnych, nieskrępowanych żadnymi oporami dodatkowymi, sztucznie utworzonymi, nie istnieją. Systemy obrócone zatem zawsze mieszczą w sobie pewne opory dodatkowe (np. tamy regulacyjne), o b r a c a j ą c e prąd przekątny naturalny. Jasnem jest, że, jeżeli obrócenia prądu osiąga się zapomocą pewnych oporów dodatkowych, to tem samem ustalają się zupełnie określone stosunki ilości powietrza w bocznicach systemu obróconego, jak również system otrzymuje pewną zupełnie określoną wielkość oporu ogólnego. Z tego wynika, że czynność obrócenia prądu może być rozpatrywana, jako przypadek szczególny regulowania systemu przekątnego naturalnego, i może mieć jako swój cel przy zmienionym kierunku prądu w bocznicy przekątnej uregulowanie systemu s t o s u n k o w e, a b s o l u t n e lub c a ł k o w i t e. Poniżej wykażemy, że, o ile w systemie obróconym zostanie zachowane także same

W tych chwilach asymptoty hiperbol zasadniczych stają się równoległymi do siebie; w pierwszym przypadku asymptota O_1A hiperboli C_1 , pochylając się ku osi $O\mathcal{X}$, zajmuje pozycję $O_1A' \parallel O_2B$, w drugim zaś przypadku asymptota O_2B hiperboli C_2 , obracając się do góry, zajmuje pozycję $O_2B' \parallel O_1A$. W chwilach tych istnieje proporcja:

$$\frac{a}{b} = \frac{a'}{b'}.$$

Proporcja ta może być również osiągnięta przy jednoczesnym zwiększaniu b i a' , i naturalnie pomiędzy pozycjami krańcowymi O_2B' , O_1A , oraz O_2B , O_1A' , można pomyśleć nieskończone mnóstwo pozycji asymptot równoległych, przy których prąd w bocznicy przekątnej ustaje. Dla wszystkich tych przypadków obydwa stosunki X i Y rosną nieograniczenie.

Przy dalszych zwiększeniach oporów a i b' hiperbole przestają się przecinać w prawej górnej ćwiartce, co odpowiada obróceniu się prądu przekątnej. Jeżeli to obrócenie dokonane zostało przez jedną tylko tamę regulacyjną, umieszczoną w b lub a' , wówczas, w systemie obróconym

$$\text{lub:} \quad \left. \begin{array}{l} b > a \frac{b'}{a'} \\ a' > b' \frac{a}{b} \end{array} \right\} \quad (120)$$

opory zaś dodatkowe tam regulacyjnych, obracających:

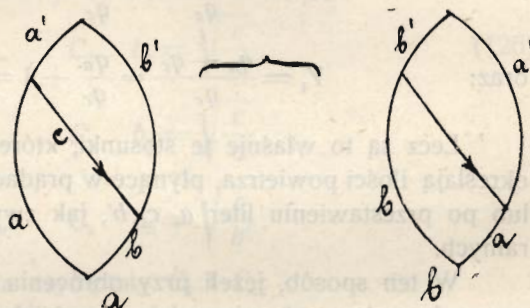
$$\text{lub:} \quad \left. \begin{array}{l} b > a \frac{b'}{a'} - b, \\ a' > b' \frac{a}{b} - a'. \end{array} \right\} \quad (121)$$

Obrócenie, oczywiście, może również nastąpić przy zmniejszaniu a i b' poniżej pewnych granic. Lecz, o ile mamy na względzie obrócenie systemów naturalnych, których bocznicę są wolne, oraz dodatnią regulację za pomocą tam z okienkiem, wówczas sposoby obrócenia przez zmianę a lub b' zostają wykluczone.

§ 20. Hiperbole zasadnicze systemów obróconych. System obrócony może być rozpatrywanym jako naturalny, jeżeli przedstawimy na bocznicach oznaczenia a i b , oraz a' i b' (rys. 37). Wówczas, zastosowując do systemu obróconego własności systemów

naturalnych, oczywiście potrafimy ułożyć równania hiperbol zasadniczych, przecinających się w prawej górnej ćwiartce. Lecz ponieważ wszelki system obrócony różni się od systemu naturalnego obecnością najmniej jednej tamy regulacyjnej (obracającej)¹⁾, umieszczonej w bocznicy b lub a' czyli po przestawieniu liter: a lub b' , to taki system nie posiada swoich własnych hiperbol zasadniczych,

gdyż podług określenia terminu „hiperbole zasadnicze“ należą one do systemów o wolnych bocznicach, nie skrępowanych przez żadne opory dodatkowe. Dlatego więc za hiperbole zasadnicze systemu obróconego powinny być



System obrócony. Rys. 37. System naturalny.

przyjęte hiperbole zasadnicze tegoż samego systemu w stanie naturalnym, który w stosunku do systemu obróconego jest sam obróconym. Stąd wynika, że hiperbole zasadnicze systemu obróconego nie przecinają się w prawej górnej ćwiartce, wszelki zaś stan systemu obróconego charakteryzuje się przez pozycje poszczególne hiperbol, w których one się przecinają, a które są uzależnione od zmian oporów odpowiednich bocznicy.

Współrzędne X_1 , Y_1 punktu przecięcia się hiperbol systemu obróconego, zachowując też same znaczenia stosunków ilości powietrza przy literach przestawionych, w rzeczywistości stanowią inne stosunki, niż w systemie naturalnym. Istotnie, podług (2), (3) § 1, w systemie naturalnym

$$X = \frac{q_a}{q_c}, \quad Y = \frac{q_{b'}}{q_c},$$

lecz ponieważ w systemie obróconym litery są przestawione, mamy w istocie:

$$X_1 = \frac{q_b}{q_c}, \quad Y_1 = \frac{q_{a'}}{q_c}$$

¹⁾ Przez termin tamy regulacyjnej należy rozumieć w danym przypadku opór dodatkowy dowolnej natury, dodatni lub ujemny, przyczem jednak na początku w celu metodyczności mamy na myśli opór dodatni.

oraz, ponieważ w systemie naturalnym

$$q_b = q_{b'} + q_c,$$

$$q_{a'} = q_a + q_c,$$

przeto:

$$X_1 = \frac{q_{b'} + q_c}{q_c} = \frac{q_{b'}}{q_c} + 1 = Y + 1,$$

oraz:

$$Y_1 = \frac{q_a + q_c}{q_c} = \frac{q_a}{q_c} + 1 = X + 1.$$

Lecz są to właśnie te stosunki, które w systemie obróconym określają ilości powietrza, płynące w prądach niezależnych b, c i a' , lub po przestawieniu liter a, c, b' , jak zwykle w systemach naturalnych.

W ten sposób, jeżeli przy obroceniu systemu postawimy za warunek zachowanie stosunków rozdziału powietrza, jaki istniał w systemie naturalnym, to powinniśmy przez uregulowanie systemu obróconego ustalić stosunki nie X i Y lecz X_1 i Y_1 , które są związane z poprzednimi przez równania:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= Y + 1, \\ Y_1 &= X + 1, \end{aligned} \right\} \quad (122)$$

Przy tych warunkach, układając równania hiperbol zasadniczych systemu obróconego, powinniśmy w równaniach hiperbol zasadniczych systemu naturalnego zastąpić X i Y przez X_1 i Y_1 i przestawić litery a i b , oraz a' i b' . W ten sposób:

hiperbole zasadnicze systemu naturalnego są:

$$\frac{X^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(Y+1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} = 1,$$

$$\frac{Y^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(X+1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} = 1,$$

zaś hiperbole zasadnicze systemu obróconego są:

$$\frac{X_1^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} - \frac{(Y_1+1)^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} = 1, \quad (123)$$

$$\frac{Y_1^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} - \frac{(X_1+1)^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} = 1. \quad (124)$$

W tych równaniach zachowany jest warunek:

$$\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'},$$

gdyż współczynniki przy X_1 i Y_1 (opory boczne) stosują się do

systemu naturalnego (przed obroceniem). Dlatego więc hiperbole, wyrażone przez równania (123) i (124) nie przecinają się w prawej górnej ćwiartce.

Istotnie, z równań (123) i (124) wypływa:

$$\text{Rzeczywista półoś hiperboli } C_1 \quad a_1 = \sqrt{\frac{c}{b}}, \quad (125)$$

$$\text{„ „ „ } C_2 \quad b_2 = \sqrt{\frac{c}{a'}}, \quad (126)$$

$$\text{urojona „ „ } C_1 \quad b_1 = \sqrt{\frac{c}{a}},$$

$$\text{„ „ „ } C_2 \quad a_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}},$$

tangens kątu nachylenia asymptoty C_1 i C_2 :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{b_1}{a_1} = \sqrt{\frac{b}{a}}, \quad (127)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{b_2}{a_2} = \sqrt{\frac{b'}{a'}}. \quad (128)$$

Jeżeli:

$$\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'},$$

wówczas:

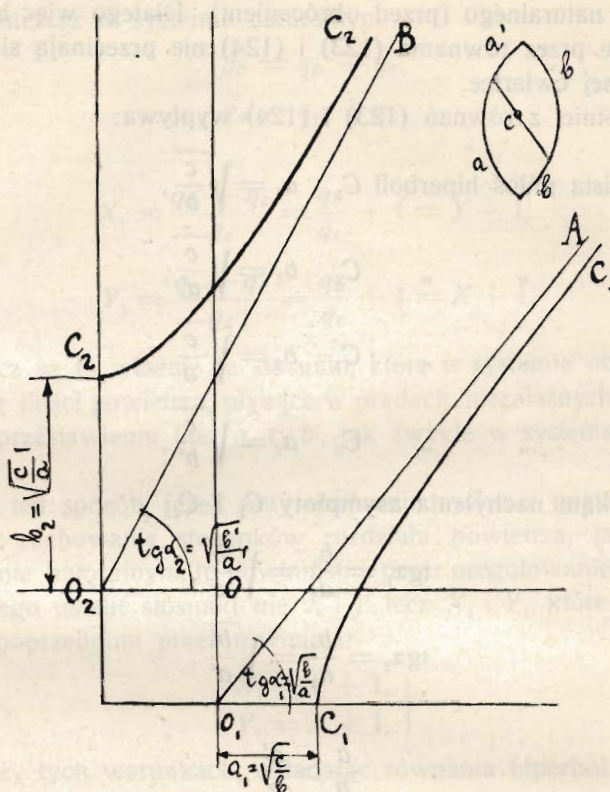
$$\frac{b}{a} < \frac{b'}{a'}$$

oraz:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 < \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (\text{rys. 38 str. 86})$$

czyli hiperbole zasadnicze nie przecinają się w prawej górnej ćwiartce. To właśnie wskazuje, że obrócenie prądu w bocznicy c uwarunkowane jest istnieniem tam regulacyjnych (oporów dodatkowych) w jakichkolwiek bądź bocznicach systemu, które na tyle zmienić powinny pozycje hiperbol zasadniczych, żeby się one przecięły w pierwszej ćwiartce płaszczyzny.

§ 21. Wpływ zwiększenia oporów a , b , a' , b' , c na pozycję hiperbol zasadniczych w systemach obróconych. Znając pozycje hiperbol zasadniczych systemu obróconego, możemy podług rysunku prześledzić zmiany, jakim będą one ulegały w zależności od zmian oporów bocznic poszczególnych, przytem musimy uwzględnić tylko zwiększenia oporów (rys. 39).



Rys. 38.

1) Jeżeli powiększa się a , wówczas zmienia swoją pozycję tylko hiperbola C_1 , hiperbola zaś C_2 zostaje bez zmiany. Przytem, półoś $a_1 = \sqrt{\frac{c}{b}}$ nie zmienia się, a $\tan \alpha_1 = \sqrt{\frac{b}{a}}$ zmniejsza się. Hiperbola C_1 , zachowując w punkcie niezmiennym swój wierzchołek, zwęża się i stopniowo pochyla się ku swojej osi, łącząc się z nią przy $a = \infty$.

2) Jeżeli powiększa się b , to również zmienia swoją pozycję tylko krzywa C_1 , krzywa zaś C_2 pozostaje bez zmian. Przytem półoś $a_1 = \sqrt{\frac{c}{b}}$ zmniejsza się, a $\tan \alpha_1 = \sqrt{\frac{b}{a}}$ zwiększa się; hiperbola C_1 wyprostowuje się, zbliżając się ku osi OY , i łączy się z nią przy $b = \infty$.

3) Jeżeli powiększa się a' , to zmienia się tylko hiperbola C_2 ,

oraz $\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{b'}{a'}}$ pozostają bez zmian, lecz obydwie półosie $a_1 = \sqrt{\frac{c}{b}}$, $b_2 = \sqrt{\frac{c}{a'}}$ zwiększają się jednocześnie, i obydwie hiperbole, zachowując pozycje podobne, oddalają się w nieskończoność.

Z rys. 39, na którym są uwidocznione wszelakie możliwe pozycje krzywych przy wszelkich zmianach oporów a , b , a' , b' , c z zupełną oczywistością wypływają tak warunki obrócenia, jak też sposoby uregulowania określonych stosunków $X'_1 Y'_1$ w systemie obróconym.

Przedewszystkiem staje się zupełnie jasnem, że obrócenie nie może być osiągnięte przez zmiany c , a lub b' , gdyż przy zwiększaniu tych wielkości z osobna lub razem hiperbole zasadnicze jeszcze bardziej odchodzą od siebie. Hiperbole przecinają się ze sobą tylko w przypadkach zwiększania b lub a' z osobna lub razem.

Jeżeli zmienia się tylko jedna bocznica b , wówczas, zaczynając od pozycji C'_1 hiperboli C_1 , przy której asymptoty obydwu hiperbol stają się równoległymi, przy dalszem zwiększaniu b następuje obrócenie, przytem w systemie obróconym na stosunki X_1 , Y_1 otrzymuje się liczby z następujących przedziałów:

X_1 leży wewnątrz przedziału $(\infty, 0)$,

zaś Y'_1 „ „ „ „ (∞, m) ,

przyczem dolne kresy odpowiadają związkowi $b \rightarrow \infty$, nadto $m > b_2$.

Jeżeli zmienia się tylko jedna bocznica a' , wówczas zaczynając od pozycji C'_2 hiperboli C_2 , przy której asymptoty obydwu hiperbol stają się równoległymi, przy dalszem zwiększaniu się a' następuje obrócenie, przytem w systemie obróconym na stosunki X_1 i Y_1 otrzymujemy liczby następujące:

X'_1 zmienia się od ∞ do dolnego kresu $> a_1$,

Y'_1 „ „ „ „ ∞ „ 0,

przyczem dolne kresy odpowiadają związkowi $a' \rightarrow \infty$.

Przy jednoczesnem zwiększaniu dwóch oporów, odpowiednio skombinowanem, mogą być osiągnięte dowolne wartości $X'_1 Y'_1$.

ROZDZIAŁ V.

DODATNIE REGULOWANIE POWIETRZA W SYSTEMACH PRZEKĄTNYCH PROSTYCH OBRÓCONYCH.

§ 22. Regulacja stosunkowa. Na podstawie wywodów poprzedniego § może być dokonana regulacja stosunków $X'_1 Y'_1$. Wybór bocznic, ulegających zwężaniu, zależy od miejsca, zajmowanego przez punkt, określony współrzędnymi $X'_1 Y'_1$, w stosunku do hiperbol zasadniczych.

Hiperbole zasadnicze C_1 i C_2 rozcinają płaszczyznę prawej górnej ćwiartki na 3 części: 1) środkową, pomiędzy C_1 i C_2 ; 2) dolną, między hiperbolą C_1 a osią $\mathcal{OX}$; 3) górną, pomiędzy hiperbolą C_2 a osią $\mathcal{OY}$. Z rys. 39. zupełnie wyraźnie wynika, że:

1) wszystkie pozycje punktu $m (X'_1 Y'_1)$, odpowiadające części środkowej, mogą być otrzymane jedynie przez zwiększanie oporów bocznic b i a' ;

2) wszystkie pozycje punktu $m (X'_1 Y'_1)$, odpowiadające części dolnej można osiągnąć dwoma sposobami:

1-szy sposób: bez udziału c przez zwiększanie a i a' ,

2-gi „ przy udziale c „ „ „ c i a' ;

3) wszystkie pozycje punktu $m (X'_1 Y'_1)$, odpowiadające części górnej, mogą być również osiągnięte dwoma sposobami:

1-szy sposób: bez udziału c przez zwiększanie b i b' ,

2-gi „ przy udziale c „ „ „ c i b' .

Żadne inne sposoby nie istnieją. Zamiast 8 sposobów parzystych kombinacji bocznic w systemie naturalnym mamy tylko 5 sposobów w systemie obróconym.

Porównyując te sposoby oraz przypadki ich stosowania ze sposobami regulowania w systemach naturalnych (rys. 28 i 29) przestrzegamy, że sposoby regulowania systemu obróconego bez udziału bocznic przekątnej

1) w części środkowej (b, a') odpowiadają sposobowi regulowania systemu naturalnego w kącie I.

2) w części dolnej (a, a') odpowiadają sposobowi regulowania systemu naturalnego w kącie II.

3) w części górnej (b, b') odpowiadają sposobowi regulowania systemu naturalnego w kącie IV.

Sposób zaś analogiczny stosowanemu w kącie III systemu naturalnego (a, b') w systemie obróconym nie istnieje.

Na tej podstawie będziemy oznaczali:

środkową część płaszczyzny pomiędzy C_1 i C_2	liczbą rzymską	I
dolną	" " "	II
górą	" " "	IV

Co się zaś tyczy sposobów regulowania przy udziale c w II i IV płaszczyźnie, to te nie odpowiadają sposobom, stosowanym w odpowiednich kątach systemu naturalnego, lecz są analogiczne do sposobów specjalnych, właściwych wąskim płaszczyznom, na które się dzieli kąt I trzecią hiperbolą zasadniczą, i przy porównaniu ze sposobami II i IV kątów różnią się od nich swemi wskaźnikami przy literach.

W ten sposób, w obszarze największym, którym zwykle bywa I, istnieje tylko jeden sposób regulowania. W dwu bocznych obszarach — po 2 sposoby. Wskutek tego, łatwiej uczynić prawidłowy wybór metody regulowania stosunków X'_1, Y'_1 w systemie obróconym, niż w naturalnym. W tym celu wystarczy nakreślić tylko asymptoty obydwu hiperbol, aby zrobić bardzo trafne przypuszczenie o pozycji punktu $m (X'_1, Y'_1)$ i o możliwych sposobach regulowania. Wszystkie punkty, leżące pomiędzy asymptotami, znajdują się bezwarunkowo w obszarze I i dlatego otrzymujemy jedynym w tym przypadku możliwym sposobem b, a' . Wszystkie punkty, leżące między jedną z asymptot oraz najbliższą do niej osią współrzędnych, mogą się znaleźć jużto w obszarze I, jużto w jednym z bocznych obszarów. Jeżeli znane są półosie rzeczywiste hiperbol, oraz jeżeli krzywe są wykreślone, chociażby na oko, wówczas przynależność punktu m do tej lub innej części płaszczyzny, odciętej hiperbolą, może być z wielkiem prawdopodobieństwem ustaloną z ryzykiem, że pomylimy się tylko jeden raz, gdyż drugi wniosek, że punkt m leży w sąsiedniej części płaszczyzny będzie już bezwarunkowo słusznym.

Stąd również widoczne, że, o ile chodzi o określenie właściwych sposobów regulowania stosunków X_1, Y_1 , systemy obró-

cone są mniej różnorodne, niż naturalne, a zatem i prostsze dla obliczeń. Będąc więc wygodniejszym pod względem rachunkowym, system obrócony jednakże, gdy chodzi o przystosowanie się do warunków miejscowych, jest mniej wygodnym od systemu naturalnego, ponieważ daje mniej rozmaitych sposobów rozwiązania zadania.

Dla określenia oporów dodatkowych tam regulacyjnych oczywiście, służą też same wzory I, II, III, IV, V i VI § 12, w których należy tylko przestawić litery a i b , oraz a' i b' :

$$I' \quad \mu_b = \frac{a(Y'_1 + 1)^2 + c}{(X'_1)^2} - b, \quad (129)$$

$$II' \quad \mu_{a'} = \frac{b'(X'_1 + 1)^2 + c}{(Y'_1)^2} - a', \quad (130)$$

$$III' \quad \mu_a = \frac{b(X_1)^2 - c}{(Y'_1 + 1)^2} - a, \quad (131)$$

$$IV' \quad \mu_{b'} = \frac{a'(Y'_1)^2 - c}{(X'_1 + 1)^2} - b', \quad (132)$$

$$V' \quad \mu_c = b(X'_1)^2 - a(Y'_1 + 1)^2 - c, \quad (133)$$

$$VI' \quad \mu_{c'} = a'(Y'_1)^2 - b'(X'_1 + 1)^2 - c. \quad (134)$$

Reasumując powyższe wyniki, możemy ułożyć następującą tabelkę przydatną przy rozwiązywaniu zadań praktycznych:

Obszar	bocznicze zwężane	w z o r y
I. między C_1 i C_2	b, a'	I' i II'
II. „ C_1 i $\mathcal{O}\mathcal{X}$	a, a' c, a'	III' i II' V' i II', zastępując c przez $c + \mu_c$
IV. „ C_2 i $\mathcal{O}\mathcal{Y}$	b, b' c, b	I' i IV' VI' i I', zastępując c przez $c + \mu_c$

§ 23. Opór ogólny systemu obróconego. Wzory oporu ogólnego systemu obróconego otrzymują się ze wzorów systemu naturalnego przez zastąpienie X, Y stosunkami X_1, Y_1 , oraz przez

przestawienie liter a i b oraz liter a' i b' . Dla porównania wypisujemy obok wzory systemu naturalnego i obróconego:

Nr z § 1	System naturalny	System obrócony	Nr
8	$M_1 = \frac{a(X)^2 + a'(X+1)^2}{(X+Y+1)^2}$	$M'_1 = \frac{b(X_1)^2 + b'(X_1+1)^2}{(X_1+Y_1+1)^2}$	(135)
9	$M_2 = \frac{b'(Y)^2 + b(Y+1)^2}{(X+Y+1)^2}$	$M'_2 = \frac{a'(Y_1)^2 + a(Y_1+1)^2}{(X_1+Y_1+1)^2}$	(136)
10	$M_3 = \frac{\{a'(X+1)^2 + b(Y+1)^2 + c\}}{(X+Y+1)^2}$	$M'_3 = \frac{\{b'(X_1+1)^2 + a(Y_1+1)^2 + c\}}{(X_1+Y_1+1)^2}$	(137)
11	$M_4 = \frac{a(X)^2 + b'(Y)^2 - c}{(X+Y+1)^2}$	$M'_4 = \frac{b(X_1)^2 + a'(Y_1)^2 - c}{(X_1+Y_1+1)^2}$	(138)

Ponieważ z 4 wzorów oporu ogólnego można zawsze wybrać taki, który nie zawiera bocznicy, ulegających zwięźnieniu, przeto naturalnie, opór ogólny systemu obróconego nie zależy od sposobu regulowania stosunkowego, lecz jedynie od wielkości ustalonych stosunków X'_1 , Y'_1 .

Nie trudno też wywnioskować z tychże wzorów, że, jeżeli w systemie obróconym są zachowane też same stosunki podziału powietrza na bocznice, jakie istniały w systemie naturalnym, to opór ogólny systemu obróconego jest większym od oporu systemu naturalnego. Istotnie, jeżeli powietrze po obróceniu prądu dzieli się w tym samym stosunku, wówczas na zasadzie (122) § 20:

$$X_1 = Y + 1,$$

$$Y_1 = X + 1.$$

Stąd:

$$Y = X_1 - 1,$$

$$X = Y_1 - 1.$$

Wstawiając te wyrażenia we wzory oporu ogólnego systemu naturalnego, otrzymujemy:

$$\text{z (8)} \quad M_1 = \frac{a(Y_1 - 1)^2 + a'(Y_1)^2}{(X_1 + Y_1 - 1)^2} \quad (139)$$

$$\text{z (9)} \quad M_2 = \frac{b'(X_1 - 1)^2 + b(X_1)^2}{(X_1 + Y_1 - 1)^2} \quad (140)$$

$$z \text{ (10)} \quad M_3 = \frac{a' (Y_1)^2 + b (X_1)^2 + c}{(X_1 + Y_1 - 1)^2}, \quad (141)$$

$$z \text{ (11)} \quad M_4 = \frac{a (Y_1 - 1)^2 + b' (X_1 - 1)^2 - c}{(X_1 + Y_1 - 1)^2}, \quad (142)$$

Jeżeli (X_1, Y_1) odpowiadają punktom obszaru I i otrzymują się przez zmianę b, a' , wówczas, porównyując wzory (142) i (137), które nie zależą od tych wielkości, spostrzegamy:

$$a \left(\frac{Y_1 - 1}{X_1 + Y_1 - 1} \right)^2 < a' \left(\frac{Y_1 + 1}{X_1 + Y_1 + 1} \right)^2,$$

$$b' \left(\frac{X_1 - 1}{X_1 + Y_1 - 1} \right)^2 < b' \left(\frac{X_1 + 1}{X_1 + Y_1 + 1} \right)^2,$$

$$-\frac{c}{(X_1 + Y_1 - 1)^2} < +\frac{c}{(X_1 + Y_1 + 1)^2},$$

a zatem i suma wszystkich lewych stron nierówności będzie mniejszą od sumy wszystkich prawych stron, t. j. $M < M'$. Różnica pomiędzy M i M' będzie tem większą, im mniejsze są stosunki X', Y' .

Ponieważ, jak wyjaśniono, wielkość oporu ogólnego nie zależy od sposobu regulowania, zatem oczywiście nierówność $M < M'$ zachodzi przy każdym położeniu punktu m , dopuszczającem różne sposoby regulowania.

§ 24. Regulowanie całkowite. Ponieważ system obrócony nie może istnieć bez pewnych obracających tam regulacyjnych, więc regulowanie absolutne (to znaczy oporu ogólnego) nie może być pomyślane inaczej, jak tylko w połączeniu z regulowaniem stosunkowem, a przeto uzupełniając ostatnią, wchodzi w problem regulowania całkowitego. Widzieliśmy (§ 14), że regulowanie absolutne nie zależy od pozycji punktu $m (X', Y')$. Przeto i sposoby regulowania absolutnego systemów naturalnego i obróconego zostają też same z jedynem zastrzeżeniem — zamiany liter. W takich warunkach sposoby regulowania absolutnego bez udziału bocznicy przekątnej, a polegające na związaniu bocznic parami schodzących się: a, b lub a', b' , pozostają bez zmiany, sposób zaś z bocznicą przekątną a, c, b' zamienia się w b, c, a' . Regulowanie całkowite, włączające absolutne i stosunkowe, oczywiście zależy już od pozycji $m (X', Y')$, względem hiperbol zasadniczych i otrzymuje się przez kombinację odpowiadających jego pozycji sposobów regulowania stosunkowego z jednym ze sposobów regulowania absolutnego przy warunku osiągnięcia obydwu celów możliwie temi samymi tamami regulacyjnymi tak, iżby tam było najmniej (nie więcej niż 3).

Do wyliczenia oporów dodatkowych, wychodząc ze wzorów oporu ogólnego (135—138), możemy ułożyć 10 wzorów analogicznych do wzorów IX—XVIII § 14—15, które też mogą być wyprowadzone bezpośrednio z tychże przez odpowiednią zamianę liter. Wzory te są:

$$\text{IX'} \quad \mu_b = \frac{M' (X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - b' (X'_1 + 1)^2}{(X'_1)^2} - b, \quad (143)$$

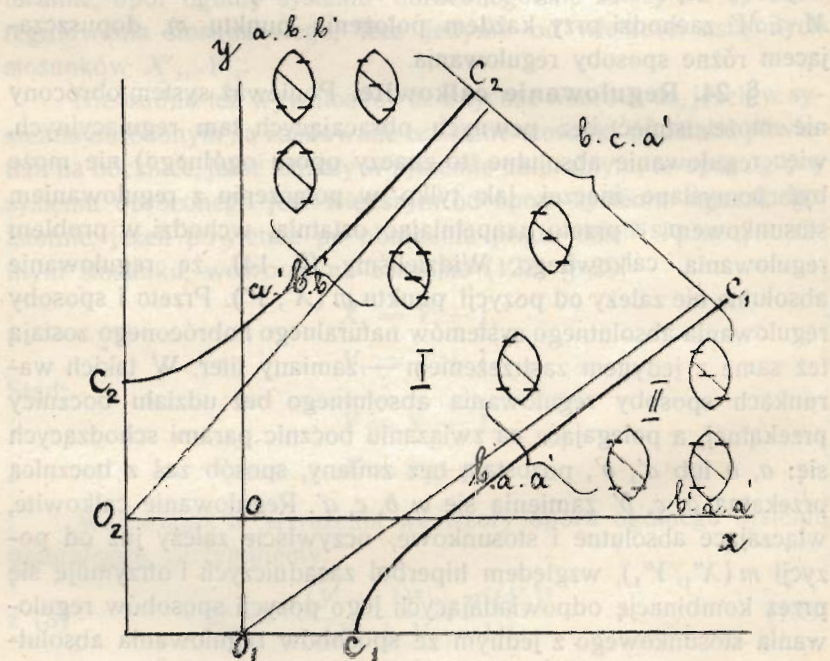
$$\text{X'} \quad \mu_{a'} = \frac{M' (X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - a' (Y'_1 + 1)^2}{(Y'_1)^2} - a', \quad (144)$$

$$\text{XI'} \quad \mu_a = \frac{M' (X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - a' (Y'_1)^2}{(Y'_1 + 1)^2} - a, \quad (145)$$

$$\text{XII'} \quad \mu_{b'} = \frac{M' (X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - b' (X'_1)^2}{(X'_1 + 1)^2} - b', \quad (146)$$

$$\text{XIII'} \quad \mu_c = M' (X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - b' (X'_1 + 1)^2 - a' (Y'_1 + 1)^2 - c, \quad (147)$$

$$\text{XIV'} \quad \mu_{c'} = -M' (X'_1 + Y'_1 + 1)^2 + b' (X'_1)^2 + a' (Y'_1)^2 - c, \quad (148)$$



Rys. 40. (obszar nad hiperbolą C_2 oznaczyć liczbą IV).

$$XV' \quad \mu_b = \frac{M'(X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - a'(Y'_1)^2 + c}{(X'_1)^2} - b, \quad (149)$$

$$XVI' \quad \mu_{a'} = \frac{M'(X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - b(X'_1)^2 + c}{(Y'_1)^2} - a', \quad (150)$$

$$XVII' \quad \mu_a = \frac{M'(X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - b'(X'_1 + 1)^2 - c}{(Y'_1 + 1)^2} - a, \quad (151)$$

$$XVIII' \quad \mu_{b'} = \frac{M'(X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - a(Y'_1 + 1)^2 - c}{(X'_1 + 1)^2} - b' \quad (152)$$

Teraz możemy ułożyć następującą tabelkę regulowania całkowitego systemu obróconego: (Rys. 40).

Sposoby regulowania bez udziału bocznic c :				
Obszar	regulowanie stosunkowe	regulowanie absolutne	regulowanie całkowite	wzory
I.	$b \ a'$	$a \ b$ $a' \ b'$	$b \ a \ a'$ $a' \ b \ b'$	IX' XVII' II' X' I' XVIII'
II.	$a \ a'$	$a \ b$ $a' \ b'$	$b \ a \ a'$ $b' \ a \ a'$	IX' XVII' II' XII' III' XVI'
IV.	$b \ b'$	$a \ b$ $a' \ b'$	$a \ b \ b'$ $a' \ b \ b'$	XI' XV' IV' X' I' XVIII'
Sposoby regulowania przy udziale bocznic c :				
I.	$b \ a'$	$b \ c \ a'$	$b \ c \ a'$	IX' XIII' X'.
II.	$c \ a'$	$b \ c \ a'$	$b \ c \ a'$	
IV.	$c \ b$	$b \ c \ a'$	$b \ c \ a'$	

Tak więc dla każdej z trzech części płaszczyzny istnieją 3 sposoby regulowania całkowitego. Sposób uniwersalny (b, c, a') nie wymaga sprawdzenia miejsca punktu X', Y' dla swego zastosowania.

Dwa drugie sposoby w każdej części płaszczyzny nie włączają c , przyczem sposób b, a, a' jest ogólnym dla obszarów I i II i może być z pewnością stosowanym, jeżeli $X'_1 > Y'_1$; sposób $a' b b'$ jest właściwy obszarom I i IV, i może być z pewnością stosowanym, jeżeli $X'_1 < Y'_1$; wreszcie sposób $a a' b'$ właściwy jest tylko obszarowi II; zaś sposób $a b b'$ — tylko obszarowi IV.

Zatem, jeżeli chcemy użyć sposobów regulowania, nie zawierającego bocznicy przekątnej, to możemy zrobić tylko jedno mylne przypuszczenie, co się ujawni przez otrzymanie odjemnych wielkości oporów dodatkowych. ze wzorów I'—XVIII'. Wówczas drugie przypuszczenie będzie bezwarunkowo prawidłowem. Wyrysowanie uprzednie asymptot pozwoli zrobić odrazu słuszne przypuszczenie. Stąd również i problemy regulowania całkowitego rozwiązują się łatwiej w systemie obróconym, aniżeli w naturalnym.

§ 25. Przykład liczbowy. W systemie przekątnym kopalni „Flora“ (rys. 33a) należy obrócić prąd w bocznicy przekątnej c, płynącej w drugim pokładzie z góry na dół, tak iżby przy prawidłowym ruchu powietrza z dołu do góry, istniejące stosunki X, Y zostały zachowane. Należy zatem rozwiązać taki problem: 1) w których bocznicach muszą być zbudowane tamy regulacyjne? 2) Jaki powinien być otwór tam regulacyjnych? 3) O ile zmniejszy się wskutek takiego obrócenia ogólna ilość powietrza w całym systemie, jeżeli założymy, że depresja wentylatora w szybie ssącym III się nie zmieni?

Drogą obliczenia lub pomiarów bezpośrednich (patrz Przegląd Gór.-Hutn. 1910) otrzymaliśmy:

$$\begin{aligned} a &= 411, & a' &= 81, \\ b &= 342, & b' &= 210, \\ c &= 422. \end{aligned}$$

Przez zbudowanie wykresu hiperbol zasadniczych (rys. 41) znajdujemy:

$$X = 4,31, \quad Y = 3,60.$$

Opór ogólny podług 4 wzorów (8—11):

$$M = 125.$$

Przy warunku zachowania tychże stosunków w systemie obróconym na podstawie (122) § 20 powinniśmy przyjąć:

$$\begin{aligned} X'_1 &= Y + 1 = 3,60 + 1 = 4,60, \\ Y_1 &= X + 1 = 4,31 + 1 = 5,31. \end{aligned}$$

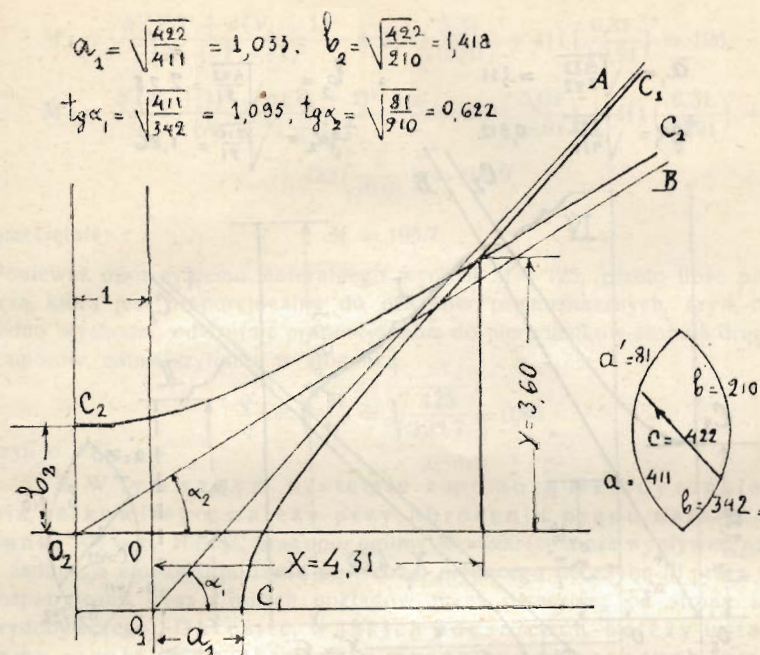
Rysujemy wykres hyperbol zasadniczych systemu obróconego (rys. 42):

$$\text{na podst. (125) § 20} \quad a_1 = \sqrt{\frac{c}{b}} = \sqrt{\frac{422}{342}} = 1,11,$$

$$\text{„ „ (126) „ „} \quad b_2 = \sqrt{\frac{c}{a'}} = \sqrt{\frac{422}{81}} = 2,28,$$

$$\text{„ „ (127) „ „} \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{342}{411}} = 0,912,$$

$$\text{„ „ (128) „ „} \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{b'}{a'}} = \sqrt{\frac{210}{81}} = 1,86.$$



Rys. 41.

Podług tych danych wystarczy wykreślić na arkuszu milimetrowym pozycje asymptot od ręki, ażeby się przekonać, że punkt m ($X_1 = 4,60$, $Y_1 = 5,31$) leży pomiędzy nimi w obszarze I (tak, że obliczenia 125 i 126 są zbędne), oraz, że dla osiągnięcia żądanych stosunków, zgodnie z tab. § 22, istnieje tylko jeden sposób uregulowania, mianowicie należy postawić 2 tamy regulacyjne w bocznicach b i a' (to znaczy na rys. 33 a w chodniku wentylacyjnym, łączącym pole wschodnie z zachodniem, na wschód od punktu k i w przecznicy, łączącej chodnik podstawowy pokładu II i I na poziomie VII w przedłużeniu przecznicy α , ewentualnie pod lub nad upadową główną).

Opory dodatkowe, zgodnie z tabelką (str. 91), określa się podług wzorów I' i II':

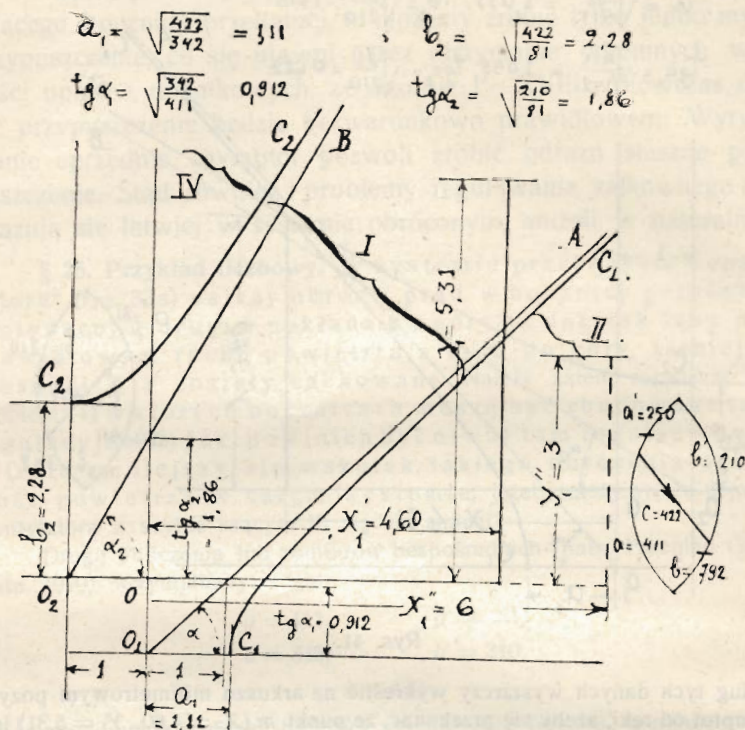
$$z \text{ (I')}: \quad \mu_b = \frac{a(Y_1 + 1)^2 + c}{(X_1)^2} - b = 411 \left(\frac{6,31}{4,60} \right)^2 + 422 \left(\frac{1}{4,60} \right)^2 - 342 = 450,$$

$$z \text{ (II')}: \quad \mu_{a'} = \frac{b'(X_1 + 1)^2 + c}{(Y_1)^2} - a' = 210 \left(\frac{5,60}{5,31} \right)^2 + 422 \left(\frac{1}{5,31} \right)^2 - 81 = 169.$$

Przyjmując $S_b = 3,6$, $S_a = 6$ (przekroje chodników w obranych miejscach dla tam regulacyjnych) podług (81) § 11, znajdujemy:

$$\frac{S_b}{s_b} = 0,65 + 0,082 S_b \sqrt{\mu_b} = 0,65 + 0,082 \cdot 3,6 \sqrt{450} = 6,90,$$

$$\frac{S_{a'}}{s_{a'}} = 0,65 + 0,082 S_{a'} \sqrt{\mu_{a'}} = 0,65 + 0,082 \cdot 6 \sqrt{169} = 7,05.$$



Rys. 42.

Skąd:

$$s_b = \frac{S_b}{6,90} = \frac{3,6}{6,90} = 0,52 \text{ m}^2 = 100 \times 52 \text{ cm},$$

$$s_a' = \frac{S_{a'}}{7,05} = \frac{6}{7,05} = 0,85 \text{ m}^2 = 100 \times 85 \text{ cm}.$$

Dla sprawdzenia ułożymy nowe wartości stosunków $\frac{a}{b}$ i $\frac{a'}{b'}$:

$$b = 342 + \mu_b = 342 + 450 = 792,$$

$$a' = 81 + \mu_{a'} = 81 + 169 = 250,$$

$$\frac{a}{b} = \frac{411}{792} < \frac{a'}{b'} = \frac{250}{210}.$$

System został więc obróconym.

Znajdźmy teraz opór ogólny systemu obróconego. Podług wzorów (135), (136), (137) § 23 otrzymamy:

$$M'_1 = \frac{b(X_1)^2 + b'(X_1 + 1)^2}{(X_1 + Y_1 + 1)^2} = 792 \left(\frac{4,6}{10,91} \right)^2 + 210 \left(\frac{5,6}{10,91} \right)^2 = 195,1,$$

$$M'_2 = \frac{a'(Y_1)^2 + a(Y_1 + 1)^2}{(X_1 + Y_1 + 1)^2} = 250 \left(\frac{5,31}{10,91} \right)^2 + 411 \left(\frac{6,31}{10,91} \right)^2 = 196,$$

$$M'_3 = \frac{b'(X_1 + 1)^2 + a(Y_1 + 1)^2 + c}{(X_1 + Y_1 + 1)^2} = 210 \left(\frac{5,60}{10,91} \right)^2 + 411 \left(\frac{6,31}{10,91} \right)^2 + 422 \left(\frac{1}{10,91} \right)^2 = 195,9,$$

przeciętnie:

$$M' = 195,7.$$

Ponieważ opór systemu naturalnego wynosił $M = 125$, przeto ilość powietrza, która jest proporcjonalną do otworów równoznacznych, czyli, co na jedno wychodzi, odwrotnie proporcjonalną do pierwiastków stopnia drugiego z oporów, zmniejszyliśmy w stosunku

$$\frac{q'}{q} = \sqrt{\frac{M}{M'}} = \sqrt{\frac{125}{195,7}} = 0,80$$

czyli o 20%.

2. W tym samym systemie zapomocą metody regulowania całkowitego, należy przy obroceniu prądu ustalić stosunki $X'_1 = 6$, $Y'_1 = 3$, oraz opór ogólny $M' = 350$ (co może wpływać, naprz., z żadanego stosunku podziału powietrza, płynącego do szybu III przez teren rozpatrywany, oraz z innych pokładów przez przecznice od strony szybu wydobywczego). Określić, w jakich bocznicach należy ustawić tamy regulacyjne, oraz jakie muszą być otwory tych tam?

Zastosowując sposób uniwersalny b, c, a' , nie troszcząc się o pozycję punktu $m(X'_1, Y'_1)$, wyliczamy opory dodatkowe, zgodnie z tabelką § 24, podług wzorów IX', XIII' i X':

$$\text{z (IX')} \quad \mu_b = \frac{M'(X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - b'(X'_1 + 1)^2}{(X'_1)^2} - b =$$

$$= 350 \left(\frac{10}{6} \right)^2 - 210 \left(\frac{7}{6} \right)^2 - 342 = 343,$$

$$\text{z (XIII')} \quad \mu_c = \frac{M'(X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - b'(X'_1 + 1)^2 - a(Y'_1 + 1)^2 - c}{(X'_1 + Y'_1 + 1)^2} =$$

$$= 350 (10)^2 - 210 (7)^2 - 411 (4)^2 - 422 - 17598,$$

$$\text{z (X')} \quad \mu_{a'} = \frac{M'(X'_1 + Y'_1 + 1)^2 - a(Y'_1 + 1)^2}{(Y'_1)^2} - a' =$$

$$= 350 \left(\frac{10}{3} \right)^2 - 411 \left(\frac{4}{3} \right)^2 - 81 = 3089$$

i podł. (81) § 11, przyjmując $S_b = 3,6$, $S_c = 3,6$, oraz $S_{a'} = 6$:

$$\frac{S_b}{s_b} = 0,65 + 0,082 \cdot 3,6 \sqrt{343} = 6,05,$$

$$\frac{S_c}{s_c} = 0,65 + 0,082 \cdot 3,6 \sqrt{17598} = 39,45,$$

$$\frac{S_{a'}}{s_{a'}} = 0,65 + 0,082 \cdot 6 \sqrt{3089} = 28.$$

Skąd:

$$sb = \frac{3,6}{6,05} = 0,60 \text{ m}^2 = 120 \times 50 \text{ cm},$$

$$sc = \frac{3,6}{39,45} = 0,09 \text{ „} = 18 \times 50 \text{ „}$$

$$sa' = \frac{6}{28} = 0,21 \text{ „} = 42 \times 50 \text{ „}$$

W praktycznem zastosowaniu tego sposobu do rozpatrywanego terenu w kopalni „Flora“ należy zaznaczyć, że umieszczenie tamy regulacyjnej w bocznicę a' jest wogóle niedogodnem, gdyż wszystkie wyrobiska, w których ona mogłaby być zbudowaną, są głównymi drogami przewozowemi. Umieszczenie kilku tam wewnątrz rozgałęzienia bocznicę a' jest jeszcze mniej wygodnem, gdyż cała ta bocznicę stanowi nadzwyczaj złożony system przekątny. Miejscem najdogodniejszym jest krótka część przecznicy α pomiędzy chodnikami podstawowymi pokładów II i I na poziomie VII w ślad za odgałęzieniem bocznicę przekątnej w l , gdyż przez tę przecinkę odbywa się odstawa mniejszej ilości urobku z pola środkowego. Wobec tego powstaje pytanie, czy nie można zastosować innego sposobu regulowania. W tym celu należy przekonać się, w jakiej części płaszczyzny przypada punkt $m(X' = 6, Y' = 3)$. Wyrysowawszy od ręki asymptotę hiperboli C_1 na podstawie wzoru:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{342}{412}} = 0,91$$

i widząc, gdzie może leżeć wierzchołek hiperboli C_2 na mocy wzoru:

$$a_1 = \sqrt{\frac{c}{a}} = \sqrt{\frac{422}{411}} = 1,11,$$

można natychmiast orzec, że punkt $m(X' = 6, Y' = 3)$ przypada na II-gą część płaszczyzny (rys. 42), a zatem podług tabelki § 24 lub rys. 40 można dojść do przekonania, że żaden ze sposobów, właściwych tej części płaszczyzny, nie pozwoli uniknąć ustawiania tamy w bocznicę a' , a więc wybór innego sposobu z praktycznego punktu widzenia w danym przypadku jest obojętnym.

O ile więc tama w bocznicę a' jest nieuniknioną, problem najwygodniejszego umieszczenia tamy, da się rozwiązać przez wykluczenie upadowej głównej I drogą wybudowania szeregu tam z drzwiami pod jej dolnemi i nad górnemi blachami, oraz skierowania całego prądu odchodzącego bocznicą a' przez chodnik schodowy, znajdujący się z prawej strony upadowej, izolowany oczywiście od upadowej szeregiem tam ślepych w przecinkach. Wówczas tama regulacyjna może być zbudowaną w tym właśnie chodniku schodowym. Obliczając opór dodatkowy tam w tym przypadku, trzeba oczywiście przyjąć pod uwagę, że część tego oporu zostanie utworzona przez wykluczenie upadowej.

ROZDZIAŁ VI.

ODJEMNE REGULOWANIE ZAPOMOCĄ DODATKOWEJ DEPRESJI.

§ 26. Zasada ogólna. Związek pomiędzy ilością powietrza a depresją w danym systemie wyraża się wzorem jego otworu równoznacznego:

$$A = 0,38 \frac{Q}{\sqrt{H}},$$

gdzie A oznacza wielkość otworu, Q ilości powietrza, H spadek ciśnienia.

Skąd:

$$H = \left(0,38 \frac{Q}{A} \right)^2.$$

Zatem stworzenie w jakikolwiekby sposób określonej depresji (naprz. przeciągiem naturalnym, ogrzaniem prądu wychodzącego lub wentylatorem) stanowi regulowanie absolutnej ilości powietrza, płynącej w systemie.

Dane źródło depresji w zależności od swojej natury lub konstrukcji przyrządu, jak również w zależności od otworu równoznacznego systemu, zwykle stwarza zupełnie określoną wielkość depresji, która w przypadku wentylacji naturalnej jest praktycznie stałą, w przypadku ogrzewania piecem — zależy od temperatury ogrzania, lecz waha się w granicach określonych i nie może przekroczyć pewnej granicy, w przypadku zaś wentylatorów — może być dowolnie regulowana ilością obrotów koła wiatrakowego w stosunkowo szerokich granicach, uwarunkowanych jedynie konstrukcją oraz wymiarami bezpiecznymi przyrządu. Lecz, zarówno w przypadku pieców wentylacyjnych, jak też zwłaszcza przy wentylatorach wirujących dla każdego danego systemu bocznicy o określonym otworze równoznacznym istnieją, w pierwszym przypadku — określona temperatura ogrzania, w drugim — określona ilość obrotów, gdy chodzi o uzyskanie wyników jaknajlepszych pod wzglę-

dem ekonomicznym. Oprócz tego, jeżeli wentylator wirujący połączony jest z trójfazowym asynchronicznym motorem, to liczba obrotów wentylatora pozostaje bez zmiany, i regulowanie biegu wentylatora może być dokonane przez połączenie z kilkoma motorami lub zapomocą motoru kolektora w kaskadowym połączeniu z asynchronicznym motorem.

W ten sposób, na ogół biorąc, główne źródło depresji stwarzają w wielkości określonej i stałej. Dlatego więc, wszelkie regulowanie powietrza w praktyce zwykle dokonywa się przez zmiany wielkości otworu równoznacznego.

W rozdziałach poprzednich rozpatrywaliśmy sposoby regulowania zapomocą tam regulacyjnych z okienkiem, stwarzających opór dodatkowy t. j. przez zwiększanie oporów poszczególnych elementów systemu czyli, co na jedno wychodzi, przez zmniejszanie otworu równoznacznego. W tym rozdziale będziemy rozpatrywali sposoby odwrotne, zapomocą zmniejszania oporu czyli, co jest tem samem, przez zwiększanie otworu równoznacznego, co znów polega na stwarzaniu depresji dodatkowej w poszczególnych elementach systemu.

Wpływ depresji dodatkowej na pierwotne źródło depresji jest analogicznym do zmniejszenia oporu czyli włączenia oporów odjemnych (odjęcia oporów, w przeciwieństwie do dodawania przy tamach regulacyjnych). Na tej podstawie regulowanie, osnute na zasadzie depresyj dodatkowych, może być nazwane odjemnem dla odróżnienia od regulowania dodatniego, osnutego na zwężaniu prądów w okienkach tam regulacyjnych.

Stworzenie depresji dodatkowej czyli włączenie oporu odjemnego może być dokonane trzema sposobami: 1) przez ustawienie lokalnych wentylatorów (Sonderbewetterung), 2) przez używanie inżektorów, 3) przez miejscowe podwyższenie temperatury. Praktyczne znaczenie dla regulowania mogą mieć jedynie 2 pierwsze sposoby. Lecz trzeci sposób ma znaczenie przy regulacji żywiołowej, t. j. przy zmianach, zachodzących w przewietrzaniu na skutek pożarów i dlatego ma również ważne praktyczne znaczenie.

Podobnie, jak przy regulowaniu zapomocą tam regulacyjnych, stwarzanie depresji dodatkowej może mieć jako swój cel regulowanie stosunkowe, absolutne i całkowite. W pierwszym przypadku chodzi o stosunkowy rozdział powietrza w bocznicach systemów rozgałęzionych, w drugim — chodzi o powiększenie otworu

równoznacznego całego systemu, jako całego elementu, wreszcie regulowanie całkowite obejmuje jednocześnie regulowanie stosunkowe i absolutne. Rozpatrzmy naprzód regulowanie absolutne.

§ 27. Regulowanie absolutne. Przypuśćmy, że w linii danego przewodnika mieści się wentylator czyli stałe źródło depresji pierwotnej h_1 . Jeżeli w tejże linii oprócz tego wentylatora pierwotnego znajduje się drugie źródło depresji (np. przeciąg naturalny, lub drugi wentylator), stwarzające depresję h_2 , wówczas depresja całkowita H będzie:

$$H = h_1 + (\pm h_2) = h_1 \pm h_2, \quad (153)$$

oraz cała ilość powietrza:

$$Q = \frac{A\sqrt{H}}{0,38} = \frac{A}{0,38} \sqrt{h_1 \pm h_2}. \quad (154)$$

Kierunek przeciągu, spowodowany przez drugie źródło, w stosunku do pierwotnego, zupełnie naturalnie, może być dowolnym. Oczywiście, że kierunek przeciwny stwarza dla pierwotnego źródła depresji opór dodatni i podług swej roli jest analogicznym do oporów dodatkowych, stwarzanych przez tamy regulacyjne, różniące się tem, że stwarzają one opór dodatkowy bez żadnego wydatku energii. Stąd, w zadaniach praktycznych regulowania zapomocą depresji dodatkowej, kierunek stwarzanego przeciągu powinien być zgodnym z kierunkiem przeciągu pierwotnego, w przeciwnym bowiem przypadku cel będzie prościej i taniej osiągnięty zapomocą tam regulacyjnych. W ten sposób w równaniu (154) musimy uwzględnić jedynie dodatni znak:

$$Q = \frac{A}{0,38} \sqrt{h_1 + h_2}. \quad (155)$$

Zosobna każde źródło depresji wywołuje krążenie następujących ilości powietrza:

$$q_1 = \frac{A}{0,38} \sqrt{h_1},$$

oraz:

$$q_2 = \frac{A}{0,38} \sqrt{h_2}.$$

Podnosząc do drugiej potęgi q_1 i q_2 , oraz sumując, otrzymamy:

$$q_1^2 + q_2^2 = \left(\frac{A}{0,38}\right)^2 (h_1 + h_2)$$

i porównyując z (154), otrzymujemy:

$$q_1^2 + q_2^2 = Q^2. \quad (156)$$

Tak samo, gdybyśmy mieli w tejże linii kilka źródeł depresji, otrzymalibyśmy:

$$q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_n^2 = Q^2 \quad (157)$$

to znaczy, że ogólna ilość powietrza prądu, spowodowanego przez 2 lub więcej źródła depresji, jest zawsze mniejszą od sumy ilości powietrza prądów, spowodowanych przez każde źródło z osobna.

Lecz ponieważ ogólna ilość powietrza przez wprowadzenie nowego źródła w każdym przypadku powiększa się, przeto można rozpatrywać wprowadzenie każdej depresji dodatkowej w stosunku do pierwotnej, pozostającej bez zmiany, jako czynność równoznaczną ze zmniejszeniem oporu systemu, lub zwiększeniem jego otworu równoznacznego, a więc równoważną wprowadzeniu w system oporu odjemnego czyli wykluczeniu pewnego elementu fikcyjnego z pomiędzy elementów, połączonych ze sobą w szereg.

Oznaczmy otwór równoznaczny i opór w miurkach tego fikcyjnego elementu przez a_x i μ_x , dla pierwotnego systemu przy jednym źródle depresji h_1 przez A, M , oraz dla nowego systemu, powstałego przez wykluczenie elementu fikcyjnego, przy dwóch źródłach depresji h_1 i h_2 przez A' i M' . Oczywiście mamy:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{A^2} &= \frac{1}{(A')^2} + \frac{1}{(a_x)^2} \\ \text{lub: } M &= M' + \mu_x \end{aligned} \right\} \quad (158)$$

$$\text{i ponieważ: } Q = \frac{A}{0,38} \sqrt{h_1 + h_2},$$

oraz oczywiście:

$$Q = \frac{A'}{0,38} \sqrt{h_1},$$

przeto:

$$\frac{A'}{A} = \sqrt{1 + \frac{h_2}{h_1}} > 1, \quad (159)$$

$$\text{oraz: } \frac{M'}{M} = \left(\frac{A}{A'}\right)^2 = \frac{1}{1 + \frac{h_2}{h_1}} = \frac{h_1}{h_1 + h_2}. \quad (160)$$

¹⁾ Patrz notę 1 na str. 37.

Wstawiając wartości A' i M' z (159) i (160) do (158), oraz określając a_x i μ_x , znajdujemy:

$$\frac{1}{(a_x)^2} = \frac{1}{A^2} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{h_2}{h_1}} \right) = \frac{1}{A^2} \cdot \frac{h_2}{h_1 + h_2},$$

skąd:
$$a_x = A \sqrt{1 + \frac{h_1}{h_2}}, \quad (161)$$

oraz:
$$\mu_x = M \cdot \frac{h_2}{h_1 + h_2}. \quad (162)$$

Ze (159) określamy:

$$h_2 = \left[\left(\frac{A'}{A} \right)^2 - 1 \right] h_1, \quad (163)$$

ze (161):
$$\left. \begin{aligned} h_2 &= \frac{A^2}{a_x^2 - A^2} \cdot h_1, \\ &= \frac{1}{\left(\frac{a_x}{A} \right)^2 - 1} \cdot h_1, \end{aligned} \right\} \quad (164)$$

lub ze (160):
$$h_2 = \frac{M - M'}{M'} \cdot h_1, \quad (165)$$

i ze (162):
$$\left. \begin{aligned} h_2 &= \frac{\mu_x}{M - \mu_x} \cdot h_1 \\ &= \frac{1}{\left(\frac{M}{\mu_x} - 1 \right)} h_1. \end{aligned} \right\} \quad (166)$$

Podług wzorów (159) i (160) znajdujemy wielkości oporów systemu zmienionych przez wprowadzenie depresji dodatkowej h_2 . Wzory (161) i (162) służą dla określenia dodatkowego oporu odjemnego. Wreszcie wzory (163)–(166) służą dla określenia dodatkowej depresji celem osiągnięcia żadanego oporu całego systemu.

Przykład liczbowy. Niech będzie otwór równoznaczny danej kopalni $A = 1,38$ i odpowiednio $M = 76$. Należy zwiększyć ilość ogólną powietrza, lub, co na jedno wychodzi, otwór równoznaczny A o 40%. Jaką powinna być depresja dodatkowa?

Ze (163) znajdujemy bezpośrednio:

$$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{A'}{A} \right)^2 - 1 = (1,40)^2 - 1 = 0,96.$$

Jeżeli $h_1 = 65$ mm, to $h_2 = 0,96 \cdot 65 = 62,4$ mm.

Podł. (161) lub (162) znajdujemy:

$$a_x = A \sqrt{1 + \frac{h_1}{h_2}} = 1,38 \sqrt{1 + \frac{65}{62}} = 1,92,$$

$$\mu_x = M \frac{h_2}{h_1 + h_2} = 76 \cdot \frac{62}{65 + 62} = 37,$$

lub bezpośrednio:

$$\mu_x = \frac{144}{a_x^2} = \frac{144}{1,92^2} = 37.$$

Nowy system posiada:

opór ogólny: $M' = M - \mu_x = 76 - 37 = 39,$

otwór równoznaczny: $A' = A \cdot 1,40 = 1,38 \cdot 1,40 = \frac{12}{\sqrt{M'}} = \frac{12}{\sqrt{39}} = 1,94.$

§ 28. Regulowanie stosunkowe w systemach normalnych. Weźmy podwójny system normalny (a_1 a_2), oraz przy-
puśćmy, że powietrze płynie pod wpływem depresji h_1 . Wyobraźmy,
że w bocznicy a_2 znajduje się drugie źródło depresji h_2 (rys. 43).

Ogólny otwór równoznaczny przed
wprowadzeniem depresji dodatkowej
był:

$$A = a_1 + a_2.$$

Depresja dodatkowa h_2 w bocznicy
 a_2 zmienia jej otwór równoznaczny
podł. (159) w

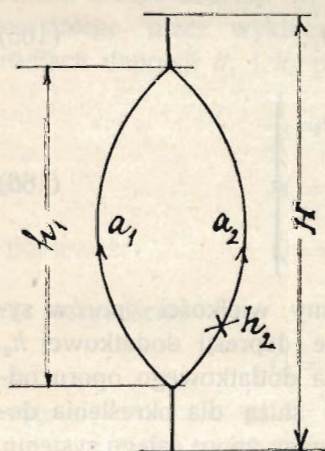
$$a'_2 = a_2 \sqrt{1 + \frac{h_2}{h_1}}.$$

Wskutek tego powietrze rozdziela się
na obydwie bocznicę w stosunku:

$$\frac{a_1}{a'_2} = \frac{a_1}{a_2 \sqrt{1 + \frac{h_2}{h_1}}}$$

przytem otwór równoznaczny ogólny powiększa się do:

$$A' = a_1 + a_2 \sqrt{1 + \frac{h_2}{h_1}}. \quad (167)$$



Rys. 43.

ogólna zaś ilość powietrza zwiększa się w stosunku:

$$\frac{A'}{A} = \frac{a_1 + a_2 \sqrt{1 + \frac{h_1}{h_2}}}{a_1 + a_2}. \quad (168)$$

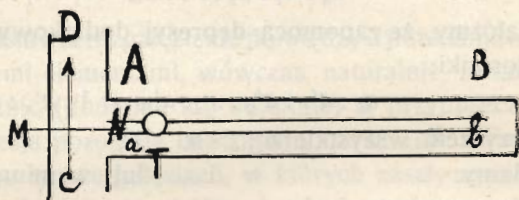
Jeżeli w (168) położymy $a_1 = 0$, wzór ten przyjmie postać (159):

$$\frac{A'}{A} = \sqrt{1 + \frac{h_2}{h_1}}.$$

Przypadek ten, oczywiście, odpowiada rozpatrzonemu w poprzednim §, gdy system składał się tylko z jednego elementu a_2 , w którym znajduje się źródło depresji dodatkowej.

Przy włączeniu bocznic równoległej a_1 stosunek $\frac{A'}{A}$, zgodnie ze wzorem (168), stale się zmniejsza wraz z powiększeniem a_1 , oraz gdy $a_1 = \infty$, to $\frac{A'}{A} = 1$. W tym przypadku oczywiście $h_1 = 0$, (jeżeli system złączony jest kolejno z innymi elementami), oraz krążenie powietrza w a_2 zachodzi wyłącznie pod wpływem depresji dodatkowej, przytem przy wszelkiej wielkości depresji h_2 stosunek $\frac{A'}{A}$ jest stale $= 1$, czyli depresja dodatkowa nie wpływa wcale na zmianę oporu systemu ogólnego.

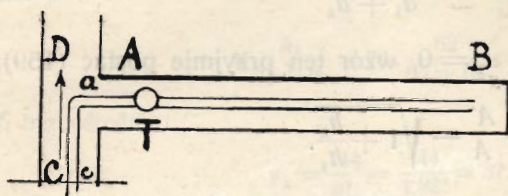
Wypadek ten odpowiada przewietrzaniu ślepych wyrobisk za pomocą lutni z samodzielnym wentylatorem (rys. 44). Oczywiście, posiadamy wówczas system podwójny normalny, której jedna bocznic a_2 , składa się z lutni ab i ślepego wyrobiska w kierunku odwrotnym BA , druga zaś bocznic a_1 stanowi przekrój chodnika głównego MN , którego otwór równoznaczny jest naturalnie ∞ . Przy braku depresji dodatkowej w a_2 , cała ilość powietrza, płynąca w wyrobisku CD , przechodzi całkowicie przez przekrój MN , w lutni zaś ab żaden ruch powietrza nie zachodzi. Lecz po połączeniu lutni z wentylatorem, który zwiększa depresję h_2 , spowodowane przez to w lutni ab i wyro-



Rys. 44.

bisku BA krążenie powietrza nie wywrze żadnego wpływu na zwiększenie otworu równoznacznego kopalni lub ogólnej ilości powietrza.

Atoli wystarczy lutnię ab przedłużyć na pewną odległość w chodniku głównym w kierunku dowolnym (rys. 45), natychmiast



Rys. 45.

stworzy się system normalny podwójny o skończonych wielkościach oporów każdej bocznic, i jedna bocznic a_1 składać się będzie z części chodnika głównego CD od po-

czątku lutni C do wylotu bocznego wyrobiska AB , druga zaś — a_2 — z całej lutni cab oraz powrotnej części wyrobiska BA . Przy tych warunkach powietrze pod wpływem różnicy ciśnień h_1 , istniejącej między skrajnymi punktami systemu C i A , rozdzieli się na obydwie bocznic w stosunku $\frac{a_1}{a_2}$, pod wpływem zaś depresji dodatkowej wentylatora T , złączonego z lutnią acb , ogólny otwór równoznaczny, a z nim razem i ogólna ilość powietrza powiększy się zgodnie z (168).

Takież same zjawisko zachodzi w każdym innym systemie normalnym, którego bocznicami są wyrobiska niezależne.

Przypuśćmy zatem, że system normalny składa się z kilku bocznic, których stosunki otworów równoznacznych są:

$$a_0 : a_1 : a_2 : \dots : a_m = 1 : n_1 : n_2 : \dots : n_m.$$

Założmy, że zapomocą depresyj dodatkowych mamy ustalić nowe stosunki:

$$a_0 : a'_1 : a'_2 : \dots : a'_m = 1 : n'_1 : n'_2 : \dots : n'_m$$

przyczem wszystkie $n'_1 > n$.

Mamy:

lub w miurach:

$$\left. \begin{aligned} \frac{a'_1}{a_1} &= \frac{n'_1}{n_1} \\ \frac{a'_2}{a_2} &= \frac{n'_2}{n_2} \\ &\vdots \\ \frac{a'_m}{a_m} &= \frac{n'_m}{n_m} \end{aligned} \right\} \quad (169)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{m'_1}{m_1} &= \left(\frac{n'_1}{n_1} \right)^2 \\ \frac{m'_2}{m_2} &= \left(\frac{n'_2}{n_2} \right)^2 \\ &\vdots \\ \frac{m'_m}{m_m} &= \left(\frac{n'_m}{n_m} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (170)$$

Skąd na zas. (158):

$$\left. \begin{aligned} a_{x_1} &= \frac{a_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n'_1}\right)^2}} \\ a_{x_2} &= \frac{a_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n'_2}\right)^2}} \\ &\dots \dots \dots \\ a_{x_m} &= \frac{a_m}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_m}{n'_m}\right)^2}} \end{aligned} \right\} \quad (171)$$

$$\left. \begin{aligned} m_{x_1} &= m_1 \left[1 - \left(\frac{n_1}{n'_1}\right)^2 \right] \\ m_{x_2} &= m_2 \left[1 - \left(\frac{n_2}{n'_2}\right)^2 \right] \\ &\dots \dots \dots \\ m_{x_m} &= m_m \left[1 - \left(\frac{n_m}{n'_m}\right)^2 \right] \end{aligned} \right\} \quad (172)$$

Wychodząc z (169) i (170), znajdujemy odpowiednio podług (163) i (165) § 27 wielkości h_2 lub z (171) i (172) odpowiednio podług (164) i (166) § 27:

$$\left. \begin{aligned} h_{x_1} &= h_1 \left[\left(\frac{n'_1}{n_1}\right)^2 - 1 \right] \\ h_{x_2} &= h_1 \left[\left(\frac{n'_2}{n_2}\right)^2 - 1 \right] \\ &\dots \dots \dots \\ h_{x_m} &= h_1 \left[\left(\frac{n'_m}{n_m}\right)^2 - 1 \right] \end{aligned} \right\} \quad (173)$$

Jeżeli system przedstawia rozgałęzienie pomiędzy 2 punktami, nie złączone kolejno z innymi elementami, wówczas, naturalnie, zmiany oporów jednych z bocznic (dodatnie lub ujemne) w przypuszczeniu, że pierwotna depresja pozostaje bez zmiany, powoduje zmianę ilości powietrza tylko w tychże gałęziach, w których zaszły zmiany oporów, podczas gdy w bocznicach, które nie uległy żadnym zmianom, będą płynęły też same ilości powietrza pod wpływem pierwotnej depresji h_1 .

Lecz jeśli system normalny złączony jest kolejno z innymi elementami, wówczas przy zachowaniu stałej wielkości depresji ogólnej H (rys. 43), spadki jej w elementach kolejnych zmieniają się proporcjonalnie do zmieniających się oporów tych elementów, t.j. przy regulowaniu dodatniem, zwiększa się opór ogólny elementu

rozgałęzionego, co pociąga stosunkowe powiększenie spadku depresji na całej jego długości, zaś przy regulowaniu odjemnem, zachodzi zmniejszenie oporu elementu rozgałęzionego i stosunkowe zmniejszenie się spadku. Dlatego więc w pierwszym przypadku (regulacji dodatniej) w wolnych bocznicach pod wpływem większego spadku ilości powietrza zwiększają się w porównaniu z pierwotnemi, w drugim zaś przypadku (regulacji odjemnej) w wolnych bocznicach pod wpływem spadku depresji ilości powietrza zmniejszają się.

Istotnie, oznaczmy przez:

M_1 — opór ogólny systemu normalnego przed regulowaniem,

M'_1 — „ „ „ „ po regulowaniu,

M_2 — „ elementów włączonych kolejno.

Wówczas:

$$\text{przed regul.:} \quad \frac{h_1}{H} = \frac{M_1}{M_1 + M_2} = \frac{1}{1 + \frac{M_2}{M_1}}, \quad (174)$$

$$\text{po regul.:} \quad \frac{h'_1}{H} = \frac{M'_1}{M'_1 + M_2} = \frac{1}{1 + \frac{M_2}{M'_1}}. \quad (175)$$

Ponieważ przy regulowaniu odjemnem, $M'_1 < M_1$, więc:

$$\frac{1}{1 + \frac{M_2}{M'_1}} < \frac{1}{1 + \frac{M_2}{M_1}},$$

oraz: $h'_1 < h_1$.

Przy regulowaniu dodatniem: $M'_1 > M_1$, więc $h'_1 > h_1$.

Ze (174):

$$h_1 = \frac{H \cdot M_1}{M_1 + M_2}, \quad (176)$$

wstawiając do (173), otrzymamy:

$$h_{xm} = \frac{H \cdot M_1}{M_1 + M_2} \left[\left(\frac{n'_m}{n_m} \right)^2 - 1 \right]. \quad (177)$$

Podług tego wzoru wyznacza się wszystkie dodatkowe depresje Ogólny otwór równoznaczny systemu normalnego:

$$\begin{aligned} A &= a_0 + a'_1 + a'_2 + \dots + a'_m = \\ &= a_0 + a_1 \left(\frac{n'_1}{n} \right) + \dots + a_m \left(\frac{n'_m}{n_m} \right) = \frac{12}{\sqrt{M_1}}, \end{aligned} \quad (178)$$

skąd: $M_0 = M'_1 + M_2$,

oraz zwiększenie ogólne ilości powietrza: $\frac{Q'}{Q} = \sqrt{\frac{M_0}{M'_0}} > 1$.

Przykład. Danym jest system:

$$\begin{array}{rcl} a_0 = 0,67 & m_0 = 312 & \\ a_1 = 0,79 & m_1 = 230 & \\ \hline A_1 = 1,46 & \longrightarrow & M_1 = 68 \\ & & M_2 = 45 \\ A_0 = 1,13 & \longleftarrow & M_0 = 113. \end{array}$$

$$H = 42 \text{ mm.}$$

$$Q = \frac{A \sqrt{H}}{0,38} = \frac{1,13 \sqrt{42}}{0,38} = 19,8,$$

$$q_0 = \frac{Q a_0}{A_1} = \frac{19,8 \cdot 0,67}{0,38} = 9,20,$$

$$q_1 = \frac{Q a_1}{A_1} = \frac{19,8 \cdot 0,79}{1,46} = 10,60.$$

$$q_0 + q_1 = 9,20 + 10,60 = 19,8 = Q.$$

Stosunki dane są:

$$a_0 : a_1 = q_0 : q_1 = 0,67 : 0,79 = 1 : 1,185, \quad n_1 = 1,185.$$

Mamy ustalić stosunki:

$$a_0 : a'_1 = q'_0 : q'_1 = 1 : 1,48, \quad n'_1 = 1,48.$$

Określamy podług (177):

$$h_x = \frac{HM_2}{M_1 + M_2} \left[\left(\frac{n'_1}{n_1} \right)^2 - 1 \right] = \frac{42 \cdot 68}{113} \left[\left(\frac{1,48}{1,185} \right)^2 - 1 \right] = 14,2,$$

podług (178):

$$A'_1 = a_0 + a_1 \frac{n'_1}{n_1} = 0,67 + 0,79 \frac{1,48}{1,185} = 0,67 + 0,99 = 1,66,$$

skąd:

$$M'_1 = \frac{144}{(A'_1)^2} = \frac{144}{1,66^2} = 52.$$

Sprawdzenie:

$$M'_0 = M'_1 + M_2 = 52 + 45 = 97.$$

$$Q' = Q \sqrt{\frac{M_0}{M'_0}} = 19,8 \sqrt{\frac{113}{97}} = 21,4,$$

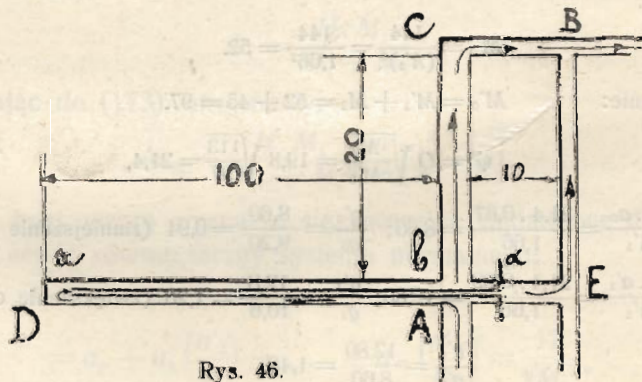
$$q'_0 = \frac{Q' \cdot a_0}{A'_1} = \frac{21,4 \cdot 0,67}{1,66} = 8,60; \quad \frac{q'_0}{q_0} = \frac{8,60}{9,20} = 0,94 \text{ (zmniejszenie o } 6\%),$$

$$q'_1 = \frac{Q' \cdot a'_1}{A'_1} = \frac{21,4 \cdot 0,99}{1,66} = 12,80; \quad \frac{q'_1}{q_1} = \frac{12,8}{10,6} = 1,20 \text{ (zwiększenie o } 20\%),$$

$$\frac{q'_1}{q'_0} = \frac{12,80}{8,60} = 1,48.$$

§ 29, Porównanie ekonomiczne regulowania odjemnego i dodatniego. Obydwa sposoby regulowania, zmieniając otwór równoznaczny ogólny, zmniejszają tem samem współczynnik pracy użytecznej wentylatora głównego, o ile ostatni był prawidłowo dostosowany do systemu naturalnego. Stąd pierwszeństwo jednego ze sposobów regulowania zależy od charakterystyki istniejącego wentylatora. Atoli tamy regulacyjne zmniejszają ogólną ilość powietrza, podczas gdy wentylatory wtórne zwiększają tą ilość. Ponieważ jednak, zwiększenie ilości powietrza w ostatnim przypadku związane jest z wydatkiem energii na uruchomienie wentylatora wtórnego, przeto sposób ten może być *a priori* usprawiedliwionym tylko wówczas, kiedy zmniejszenie ilości powietrza przez tamy regulacyjne powoduje zbyt znaczną zmianę w stanie ogólnym przewietrzania. To ma miejsce zawsze, jeżeli różnica w stosunkach podziału powietrza żądanego a istniejącego jest zbyt wielką. Tak więc, jeżeli otwory równoznaczne stosują się jak 1:10, żądane zaś ustosunkowanie powinno być odwrotne 10:1, wówczas regulowanie tamami regulacyjnymi powoduje zbyt znaczne zwężenie bocznic, bo stukrotne i otwór ogólny zmniejsza się, naprz., z 11 do 1,1. Zupełnie naturalnie, że ogólna ilość powietrza przytem może się stać zupełnie niedostateczną dla rozwoju normalnego robót górniczych. W tych przypadkach kosztem dodatkowej energii lepiej jest zastosować regulowanie odjemne zapomocą wentylatora wtórnego. Takie wypadki w praktyce zdarzają się przy przewietrzaniu głuchych przodków.

Przypuśćmy, że w kopalni bardzo gazowej naprzeciw przecinki α pochylni AC (rys. 46) pędzi się po rozciągłości chodnik AD. Chodnik ten ma 100 m dł. 2×2 m wymiarów poprzecznych. Pochylnia ma wymiary po-



Rys. 46.

przecznę 3×2 , przecinki AE i CB oraz chodnik równoległy do pochylni BE — 2×2 . Inne wymiary są podane na rysunku. Dla przewietrzania przodka D służy ssąca lutnia *ab* średnicy 300 mm. Lutnia przez tamę, zbudowaną w przecince α , odprowadza powietrze do chodnika równoległego BE. System przedstawia rozgałęzienie normalne pomiędzy punktami A i B. Jedna bocznicą a_0 kieruje się wprost pochylnią do góry, druga — a_1 zawraca na chodnik AD, oraz przez lutnię *ab* i przecinkę α przechodzi na chodnik równoległy EB i w punkcie B łączy się z poprzednią. Znajdźmy otwór równoznaczny tego systemu:

$$1) \text{ Chodnik AC: } m_1 = 1000 \frac{\alpha PL}{S^3} \cdot \delta^1) = 1000 \cdot 0,0005 \frac{20 \cdot 10}{216} 1,2 = 0,55,$$

$$2) \text{ „ CB: } m_2 = \dots = 1000 \cdot 0,0005 \frac{10 \cdot 8}{64} 1,2 = 0,75,$$

$$3) \text{ Skręt przy C: } m_3 = 1000 \frac{\delta}{2g} \cdot \frac{\zeta^2}{S^2} = 1000 \frac{1,2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{1,52}{16} = 0,575,$$

4) Zwężenie chodnika w C przy przejściu od $S' = 3 \times 2$ do $S = 2 \times 2$,

$$m_4 = 1000 \left(\frac{1 - \mu}{S \cdot \mu} \right)^2 \frac{\delta^3}{2g} = 1000 \left(\frac{1 - 0,67}{4 \cdot 0,67} \right)^2 \frac{1,2}{2 \cdot 9,81} = 0,93.$$

Razem opór bocznic a_0 w miurkach: $m_0 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 2,80$

$$a_0 = \frac{12}{\sqrt{m_0}} = \frac{12}{\sqrt{2,80}} = 7,15.$$

$$1) \text{ Chodnik AD: } m'_1 = 1000 \frac{\alpha PL}{S^3} \delta = 1000 \cdot 0,0005 \frac{100 \cdot 8}{64} 1,2 = 7,5,$$

$$2) \text{ Lutnia ab: } m'_2 = \frac{16000 \cdot \lambda L \delta^4}{\pi^2 D^5 2g} = \frac{16000 \cdot 0,0161 \cdot 100 \cdot 1,2}{3,14^2 \cdot 0,3^5 \cdot 2 \cdot 9,81} = 9800$$

$$3) \text{ Chodnik AEB: } m'_3 = 1000 \frac{\alpha PL \delta}{S^3} = 1000 \cdot 0,0005 \cdot \frac{30 \cdot 8}{64} 1,2 = 2,25,$$

$$4) \text{ Skręt przy E: } m'_4 = m_3 = \dots = 0,57,$$

Razem opór bocznic a_1 w miurkach: $m_1 = m'_1 + m'_2 + m'_3 + m'_4 = 9810,12$.

$$a_1 = \frac{12}{\sqrt{m_1}} = \frac{12}{\sqrt{9810,12}} = 0,122.$$

¹⁾ P — obwód; L — długość; S — przekrój poprzeczny; α — współczynnik oporu; δ — ciężar 1 m^3 powietrza. Wzór D'Aubison'a.

²⁾ ζ — współczynnik, zależny od kąta po wrotu, przy $90^\circ \zeta = 1,52$. (Petit)

³⁾ Podług wzorów tam regulacyjnych: $\mu = \frac{S}{S'} = \frac{4}{6} = 0,67$.

⁴⁾ D — średnica lutni, w m.

$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{D}$ — współczynnik oporu. Wzór Blaes'a.

Opory przy wylotach lutni pomijamy.

W ten sposób, mamy system:

$$a_0 = 7,15 \quad m_0 = 2,80$$

$$a_1 = 0,122 \quad m_1 = 9810,92$$

$$A_1 = 7,27 \rightarrow M_1 = 2,70$$

przypuśćmy oprócz tego, że

$$M_2 = 265$$

$$A_0 = 0,73 \leftarrow M_0 = 267,70.$$

Ponadto, przyjmujemy:

$$H = 5 \text{ m/m.}$$

Więc:

$$Q' = \frac{A_0 \sqrt{H}}{0,38} = \frac{0,73 \sqrt{5}}{0,38} = 4,3 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

lub:

$$Q' = 4,3 \cdot 60 = 258 \text{ m}^3/\text{min.},$$

$$q_0 = Q' \frac{a_0}{A_1} = \frac{258 \cdot 7,15}{7,27} = 252 \text{ m}^3/\text{min.},$$

$$q_1 = Q' - q_0 = 258 - 252 = 6 \text{ „}$$

W ten sposób, stosunki rozdziału naturalnego są:

$$q_0 : q_1 = a_0 : a_1 = 7,15 : 0,122 = 1 : 0,016, \quad n_1 = 0,016.$$

Przypuśćmy, że w przodku bocznic a_1 pracuje 7 ludzi: 2 górników, 2 ładowarzy, 2 cieśli i 1 ciskacz; w bocznic a_0 — na górze pochylni AC — 1 hamowacz. Zatem, żądany stosunek podziału powietrza jest:

$$q'_0 : q'_1 = a'_0 : a'_1 = 1 : 7, \quad n'_1 = 7.$$

Oprócz tego, mając na względzie, że kopalnia jest bardzo gazową, przyjmujemy na 1 człowieka w minutę 10 m^3 czyli:

$$q'_0 = 10$$

$$q'_1 = 70$$

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Jest to zatem dopuszczalne minimum ilości powietrza, przy regulowaniu.

Rozwiążmy naprzód zadanie zapomocą regulowania dodatniego. Tama regulacyjna musi być zbudowaną w bocznic a_0 , więc otwór równoznaczny tejże winien być:

$$a'_0 = \frac{a_1}{7} = \frac{0,122}{7} = 0,017,$$

opór zaś w miurkach:

$$m'_0 = \frac{144}{(a'_0)^3} = \frac{144}{0,017^3} = 458000,$$

opór dodatkowy tamy regulacyjnej:

$$\mu = 458000 - 2,80 = 457997,$$

$$\text{oraz podług (81) § 11: } \frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 \cdot S \sqrt{\mu}$$

przyjmując $S = 4$:

$$\frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 \cdot 4 \cdot \sqrt{457997} = 223$$

$$s = \frac{4}{223} = 0,018 \text{ m}^2 = 10 \text{ cm} \times 18 \text{ cm.}$$

Przytem osiągamy:

$$\begin{aligned} a'_0 &= 0,017 \\ a'_1 &= 0,122 \\ A_1 &= 0,139 \longrightarrow M'_1 = 7200 \\ & \qquad \qquad \qquad M_2 = 265 \\ A_0 &= 0,14 \longleftarrow M_0 = 7465 \end{aligned}$$

$$Q_{min} = 60 \cdot \frac{A_0 \sqrt{H}}{0,38} = 60 \cdot \frac{0,14 \sqrt{5}}{0,38} = 48 \text{ m}^3/\text{min}.$$

To znaczy, że ogólną ilość powietrza otrzymuje się $\frac{48}{80} = 0,64$ razy mniejszą od żądanej czyli o 36% mniej. Wobec tego niezbędnem jest ustawienie wentylatora wtórnego przy lutni i powstaje pytanie, jaką powinien stworzyć depresję dodatkową ten wentylator?

Podług (177) znajdujemy odrazu:

$$h_x = \frac{H \cdot M_1}{M_1 + M_2} \left[\left(\frac{n'_1}{n_1} \right)^2 - 1 \right] = \frac{5 \cdot 2,70}{267,7} \left[\left(\frac{7}{0,016} \right)^2 - 1 \right] = 96 \text{ mm}.$$

Przytem otrzymujemy:

$$\begin{aligned} a_0 &= 7,15 \\ a'_1 &= 7,15 \cdot 7 = 50,05 \\ A'_1 &= 57,20 \longrightarrow M'_1 = 0,043 \\ & \qquad \qquad \qquad M_2 = 265 \\ A'_0 &= 0,78 \longleftarrow M'_0 = 265,043 \end{aligned}$$

$$Q' = \frac{60 \cdot 0,78 \cdot \sqrt{5}}{0,38} = 275,$$

$$q'_0 = \frac{275 \cdot 7,15}{57,2} = 29,$$

$$q'_1 = 275 - 29 = 246.$$

Ilości te są więcej niż 3 razy większe od żądanych i ponieważ otrzymanie takich ilości przy znacznej depresji 96 mm związane jest z olbrzymiem wydatkowaniem energii, przeto zadanie winno być rozwiązane inaczej. Mianowicie wystarczy zwiększyć ilość powietrza w bocznicę a_1 do 70 m³, przy pozostawieniu w bocznicę a_0 ilości dowolnej, t. j. naprz. $252 - 70 = \infty 182$. Stąd wystarczy ustalić stosunki:

$$q'_0 : q'_1 = 182 : 70 = 1 : 0,385, \qquad n'_1 = 0,385.$$

Wówczas otrzymany nieco większą ilość ogólną, wskutek włączenia bowiem depresji dodatkowej zwiększy się otwór równoznaczny ogólny. Tak więc, podług (177):

$$h_x = \frac{5 \cdot 2,70}{267,7} \left[\left(\frac{0,385}{0,016} \right)^2 - 1 \right] = 29 \text{ mm}.$$

Przytem:

$$\begin{aligned} a_0 &= 7,15 \\ a'_1 &= 7,15 \cdot 0,385 = \frac{2,75}{9,90} \rightarrow M'_1 = 1,46 \\ A'_1 &= \frac{M_2 = 265}{\leftarrow M_0 = 266,46} \\ A'_0 &= 0,735 \end{aligned}$$

$$Q_0 = 60 \frac{0,735\sqrt{5}}{0,38} = 259,$$

$$q_0 = \frac{259 \cdot 7,15}{9,90} = 187,$$

$$q'_1 = 259 - 187 = 72 - \text{o } 3\% \text{ więcej od ilości żądanej.}$$

Jeżeli w kopalni nie wydzielają się gazy wybuchowe, wówczas dla 7 robotników w prądzie a_1 , wystarczy $q'_1 = 14$, oraz $q'_0 = 252 - 14 = 238$, zatem stosunek żądany byłby:

$$q'_0 : q'_1 = 238 : 14 = 1 : 0,059; \quad n'_1 = 0,059.$$

Zatem:

$$h_x = \frac{5 \cdot 2,7}{267,7} \left[\left(\frac{0,059}{0,016} \right)^2 - 1 \right] = 0,635 \text{ mm,}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= 7,15 \\ a'_1 &= 7,15 \cdot 0,059 = \frac{0,49}{7,64} \rightarrow M' = 2,47 \\ A'_1 &= \frac{M_2 = 265}{\leftarrow M'_0 = 267,47} \\ A'_0 &= 0,734 \end{aligned}$$

$$Q' = 60 \frac{0,734\sqrt{5}}{0,38} = 260,$$

$$q'_1 = \frac{260 \cdot 0,49}{7,64} = 16,8,$$

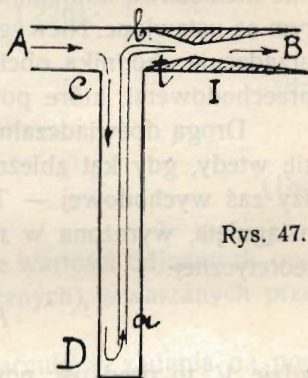
$$q'_0 = 260 - 16,8 = 243,2,$$

to znaczy, wystarczyłoby najzupełniej ustawienie młynka ręcznego,

§ 30. Regulowanie systemów normalnych zapomocą inżektorów Petit'a. W nadzwyczaj wygodny sposób otrzymuje się depresję dodatkową w wyrobiskach podziemnych przez zastosowanie inżektorów Petit'a. Nie należy mieszać tych inżektorów ze znanymi przyrządami wentylacyjnymi, inżektorami, działającymi zapomocą pary, wody lub powietrza sprężonego. Te ostatnie wymagają dla swego działania wydatku pewnej ilości energii mechanicznej i dlatego mogą być traktowane, jako pewien typ wentylatorów mechanicznych. Inżektory Petit'a wyzyskują ruch powietrza, płynącego przez wyrobiska, a więc siłą, która powoduje ich działanie, jest depresja istniejąca w kopalni i inżektor nie wymaga

dla swego uruchomienia żadnego dalszego wydatkowania energii. Tem się właśnie inżektory Petit'a wybitnie odróżniają od wszelkich innych przyrządów, stwarzających depresje dodatkowe w wyrobiskach podziemnych.

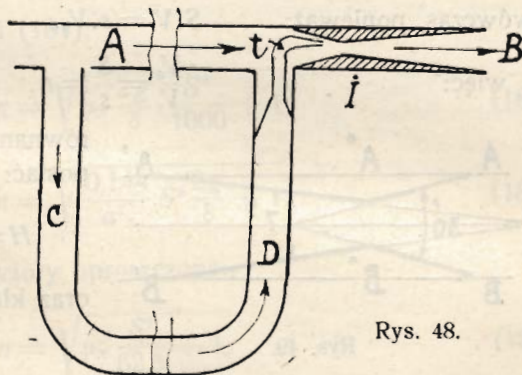
Wszelki inżektor składa się z 2 dysz stożkowatych, zwróconych do siebie swemi wierzchołkami, tworzącymi „gardło“. Przy przepływanu przez inżektor w kierunku jego osi jakiejkolwiek cieczy, płynnej lub gazowej, w gardle jego powstaje spadek ciśnienia. Dlatego więc, jeżeli przestrzeń zwężoną w gardle inżektora połączymy jakkolwiek z przewodem bocznym, to w tym ostatnim powstanie ruch cieczy w kierunku do inżektora. W ten sposób przy zastosowaniu inżektorów do wyrobisk podziemnych depresja w wyrobisku bocznym powstaje pod wpływem strumienia powietrza, płynącego przez inżektor w wyrobisku głównym. Stąd wynika, że zapomocą inżektorów można wykonywać jedynie regulowanie stosunkowe w systemach rozgałęzionych, inżektory bowiem mogą być ustawione jedynie w punktach węzłowych systemów wentylacyjnych.



Rys. 47.

Tak więc, jeżeli w wyrobisku *AB* (rys. 47, 48) płynie prąd główny, a w wyrobisku bocznym *CD*, które może stanowić bądź

chodnik ślepy, przewietrzany lutnią *ab*, (rys. 47), bądź niezależną bocznice (rys. 48), złączoną równolegle z prądem głównym, należy wzmocnić ruch powietrza, wówczas w prądzie głównym *AB*, bezpośrednio za punktem połączenia z bocznice boczną, umieszczają inżektor *I*, zbudowany



Rys. 48.

z desek, samą zaś bocznice boczną łączą z gardłem inżektora zapomocą rury *t*, która z jednej strony zapomocą dyszy rozszerza-

jącej się tworzy przedłużenie tej bocznicy, a z drugiej wchodzi do inżektora i kończy się w gardle dyszą zwężającą się (rys. 48). Jeżeli chodnik CD jest ślepy, rura t stanowi przedłużenie lutni ab . Pod wpływem depresji powstałej w gardle inżektora zachodzi wzmożone krążenie powietrza w bocznicy CD .

Jedyną niewygodę inżektorów stanowi ta okoliczność, że czynią one niemożliwą komunikację bezpośrednią przez wyrobisko, w którym są ustawione. Niewygodę tę jednakże mogą być usunięte przez urządzenie chodnika obchodowego z kilkoma tamami z drzwiami przechodowymi, które powinny być stale zamknięte.

Drogą doświadczalną ustalono, że największą depresję osiąga się wtedy, gdy kąt zbieżności dyszy wchodowej stanowi 30° , dyszy zaś wychodowej — 7° (rys. 49). W tych warunkach depresja osiągnięta, wyrażona w mm słupa wodnego, jest bliską wielkości teoretycznej:

$$H = \left(\frac{V_0^2 - V^2}{2g} \right) \delta \quad (179)$$

gdzie V_0 to prędkość powietrza w przekroju zwężonym, wyrażona w m/sec.

gdzie V to prędkość powietrza w przekroju szerokim wyrażona w m/sec.

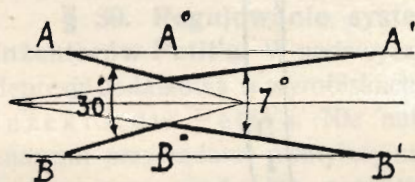
Jeżeli oznaczmy przez S — szeroki przekrój dyszy w m^2

s — wązki „ „ „ „

oraz stosunek $\frac{S}{s} = n$,

wówczas, ponieważ: $S \cdot V = s \cdot V_0$,

a więc: $\frac{V_0}{V} = \frac{S}{s} = n$,



Rys. 49.

równaniu (179) możemy nadać postać:

$$H = V^2 (n^2 - 1) \frac{\delta}{2g},$$

oraz kładąc:

$$V = \frac{Q}{S}$$

otrzymamy:

$$H = \left(\frac{Q}{S} \right)^2 (n^2 - 1) \frac{\delta}{2g}.$$

Skąd:

$$\frac{H}{Q^2} \cdot 1000 = \mu = \frac{1000}{S^2} (n^2 - 1) \frac{\delta}{2g}, \quad (180)$$

oraz:
$$a = \frac{0,38S}{\sqrt{n^2 - 1}} \sqrt{\frac{2g}{\delta}}, \quad (181)$$

lub, przyjmując:
$$\frac{\delta}{2g} = \frac{1}{16} \text{ (przy } \delta = 1,226),$$

$$\mu = 62,5 \frac{n^2 - 1}{S^2}, \quad (182)$$

$$a = \frac{1,54 \cdot S}{\sqrt{n^2 - 1}}. \quad (183)$$

Wzory (180)—(183) określają absolutne wartości odjemnych oporów (w miurgach i otworach równoznaczných), stwarzanych przez inżektory Petit'a w prądzie bocznym.

W ten sposób, po określeniu z warunków zadania na podstawie (172) lub (171) § 27 wielkości oporów odjemnych:

$$\mu_x = m_1 \left[1 - \left(\frac{n_1}{n'_1} \right)^2 \right],$$

$$a_x = \frac{a_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n'_1} \right)^2}},$$

znajdujemy ze (180) i (181):

$$n = \sqrt{\mu_x \frac{2g}{\delta} \cdot \frac{S^2}{1000} + 1}, \quad (184)$$

$$n = \sqrt{\frac{0,144}{a_x^2} S^2 \frac{2g}{\delta} + 1}, \quad (185)$$

lub z (182) i (183) wzory uproszczone:

$$n = \sqrt{\mu_x \frac{S^2}{62,5} + 1}, \quad (186)$$

$$n = \sqrt{\frac{2,31 \cdot S^2}{a_x} + 1}, \quad (187)$$

albo, wstawiając (172) i (171):

$$n = \sqrt{m_1 \left[1 - \left(\frac{n_1}{n'_1} \right)^2 \right] \frac{S^2}{6,25} + 1}, \quad (188)$$

$$n = \sqrt{\frac{2,31}{a_1^2} \left[1 - \left(\frac{n_1}{n'_1} \right)^2 \right] S^2 + 1}. \quad (189)$$

Na zasadzie tych wzorów można znaleźć stosunek pola szerokiego przekroju inżektora do pola przekroju zwężonego $n = \frac{S}{s}$, a więc, przy określonym kącie zbieżności ścianek bocznych — wszystkie elementy dla budowy inżektora.

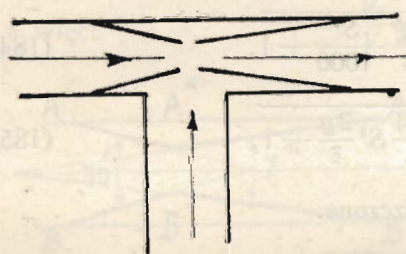
Atoli, określając wielkość oporu odjemnego inżektora, należy uwzględnić opór dodatni, stwarzany przez rurę t , (przy instalacji podług rys. 48).

Znaleziony podług (172) opór stanowi właściwie różnicę oporów inżektora i rury:

$$\begin{aligned} \mu_x &= \mu_i - \mu_t, \\ \mu_t &= \mu_x + \mu_i, \end{aligned} \quad (190)$$

skąd: Ten ostatni wzór powinien właściwie służyć dla określenia n ze wzorów (184) i (185). Wzór zaś (188) może być użyty wówczas, gdy wyrobisko boczne przylega bezpośrednio do gardła (rys. 50), co jednak jest mniej wygodnem, przy takim bowiem złączeniu powstają ruchy wirowe powietrza nie dające się łatwo obliczyć.

Oprócz powyższego, szacując wpływ inżektora na opór ogólny systemu, należy uwzględnić jeszcze opór dodatni, stwarzany przez umieszczenie samego inżektora w prądzie głównym.



Rys. 50.

Zachowując oznaczenia dawniejsze, otrzymamy: opór ogólny przed uregulowaniem:

$$M_0 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{m_0}} + \frac{1}{\sqrt{m_1}} \right)^2} + M_2,$$

po uregulowaniu:

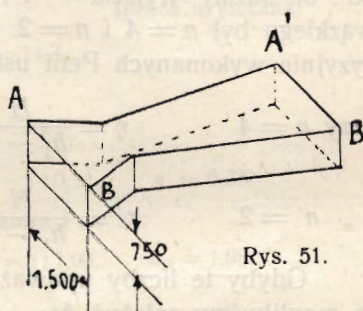
$$M'_0 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{m_0}} + \frac{1}{\sqrt{m_1} \cdot \frac{n'_1}{n_1}} \right)^2} + (\mu'_i + M_2),$$

lub:

$$M'_0 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{m_0}} + \frac{1}{\sqrt{m_1 - \mu_i}}\right)^2} + (\mu'_i + M_2). \quad (191)$$

Opór μ'_i otrzymuje się wskutek tego, że w praktyce stożkowe części inżektora nie mogą mieć kształtu teoretycznie prawidłowego, odpowiednio do istotnego kształtu strumienia. Naturalnie, opór ten jest tem większy, im prostszym jest kształt inżektora. Inżektory w wyrobiskach podziemnych zwykle zbija się z desek; mają więc przekrój prostokątny, stanowią naogół konstrukcję grubą i posiadają zatem znaczny opór własny.

P. Petit, który zbadał empirycznie działanie inżektorów kopalnianych¹⁾, nadawał w swoich inżektorach pochylenie tylko ściankom bocznym, podczas gdy górne i dolne ścianki zostawały zupełnie poziome (rys. 51). Niemniej takie niedoskonałe pod względem teoretycznym inżektory Petit'a w praktyce dały wyniki nadzwyczaj zadowalniające.



Jeżeli oznaczymy przez:

μ_i — opór odjemny inżektora w bocznicy przylegającej, uwzględniając opór t .

μ'_i — opór dodatni inżektora w prądzie głównym.

H — depresję inżektora w bocznym prądzie.

h — stratę depresji czyli opór mechaniczny przy przepływie powietrza przez inżektor, wówczas stosunek:

$$\frac{\mu_i}{\mu'_i} = \frac{H}{h}$$

jest wskaźnikiem pracy użytecznej inżektora.

Opór μ'_i , uwarunkowany ruchem wirowym w strefie gardła, oczywiście drogą teoretyczną nie może być ujęty, lecz może być znaleziony przez doświadczenie. Takie właśnie doświadczenia wykonał P. Petit w r. 1900. Zapomocą precyzyjnego depresjometra Petit określał wielkość H , oraz spadek ciśnienia na odległości zajętej przez inżektor (czyli różnicę ciśnień w przekrojach końco-

¹⁾ P. Petit. *Aérage des travaux préparatoires*, str. 125—163, 1900.

wych AB i $A'B'$ rys. 49, 51) i od tej wielkości odejmował h_2 — stratę, obliczoną teoretycznie, odpowiadającą tej samej odległości, lecz bez inżektora. Następnie wywodził stosunek:

$$\delta = \frac{H}{h_1 - h_2} = \frac{\mu_i}{\mu'_i} \quad (192)$$

Inżektory Petit'a miały na szerokich końcach przekrój 1500×750 mm. Większy wymiar odpowiadał kierunkowi poziomemu; pochylenie miały tylko ścianki boczne: od strony wejścia — 30° , od strony wyjścia — 7° . Stosunek szerokiego przekroju do wąskiego był $n = 4$ i $n = 2$. Z całego szeregu doświadczeń precyzyjnie wykonanych Petit ustalił:

$$\text{przy } n = 4 \quad \eta = \frac{H}{h_1 - h_2} = \frac{\mu_i}{\mu'_i} = 6,093, \quad (193)$$

$$,, \quad n' = 2 \quad \eta' = \frac{H}{h_1 - h_2} = \frac{\mu_i}{\mu'_i} = 40,17. \quad (194)$$

Gdyby te liczby upoważniały do wyprowadzenia wniosków, to moglibyśmy założyć, że:

$$\frac{\eta'}{\eta} = \frac{40,17}{6,093} = 6,6 = 2^{2,7} = \left(\frac{4}{2}\right)^{2,7} = \left(\frac{n}{n'}\right)^{2,7},$$

$$\eta' = \eta \left(\frac{n}{n'}\right)^{2,7} = 6,093 \cdot \left(\frac{4}{n'}\right)^{2,7},$$

$$\frac{\mu_i}{\mu'_i} = \eta = \frac{256}{n^{2,7}},$$

$$\text{skąd:} \quad \mu'_i = \frac{\mu_i \cdot n^{2,7}}{256}. \quad (195)$$

Z tego wzoru wynika, że dlatego, żeby μ'_i było $< \mu_i$, niezbędnym jest, by:

$$n^{2,7} < 256$$

$$n < \infty \quad 8. \quad (196)$$

Liczba ta stanowi stosunek graniczny n , przy którego przekroczeniu opór dodatni inżektora staje się większym od odjemnego, a więc poza którym i stosowanie inżektorów nie będzie miało wygód ekonomicznych przy porównaniu z tamami regulacyjnymi. W praktyce zwykle n nie wychodzi z granic $2 - 6$.

Przykład liczbowy. Przypuśćmy, że mamy system:

$$\begin{aligned} m_0 &= 40 \rightarrow a_0 = 1,9 \\ m_1 &= 360 \rightarrow a_1 = 0,63 \\ M_1 &= 22,5 \leftarrow A_1 = 2,53 \\ \underline{M_2 = 120} \\ M_0 &= 142,5 \rightarrow A_0 = 1,02. \end{aligned}$$

$$H = 32 \text{ mm.}$$

$$Q = \frac{1,02 \sqrt{32}}{0,38} = 15, \quad N = \frac{15,32}{75} = 6,4 \text{ HP.}$$

(praca użyteczna)

$$q_0 = \frac{15 \cdot 1,9}{2,53} = 11,3,$$

$$q_1 = \frac{15,0,63}{2,53} = 3,7.$$

$$q_0 : q_1 = a_0 : a_1 = 1,9 : 0,63 = 1 : 0,33, \quad n_1 = 0,33.$$

Należy ustalić stosunki (zapomocą inżyniera Petit'a):

$$q'_0 : q'_1 = a_0 : a_1 = 1 : 1,98, \quad n'_1 = 1,98.$$

Podł. (172) § 28 znajdujemy:

$$\mu_x = m_1 \left[1 - \left(\frac{n_1}{n'_1} \right)^2 \right] = 360 \left[1 - \left(\frac{0,33}{1,98} \right)^2 \right] = 350.$$

przypuśćmy, że $\mu_t = 260^1)$,

$$\text{podł. (190):} \quad \mu_t = \mu_x + \mu_t = 350 + 260 = 610.$$

Weźmy inżyniera, którego $S = 1,500 \times 0,750 = 1,125 \text{ m}^2$.

Ze wzoru (186) znajdujemy:

$$n = \sqrt{\mu_t \frac{S^2}{62,5}} + 1 = \sqrt{610 \frac{1,125^2}{62,5}} + 1 = 3,66.$$

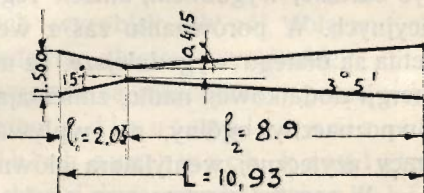
$$\text{Stąd:} \quad s = \frac{S}{n} = \frac{1,125}{3,66} = 0,31 = 0,415 \times 0,750 \text{ m.}$$

Długość inżyniera (rys. 51):

$$l_1 = \frac{1,500 - 0,415}{2 \tan 15^\circ} = \frac{0,545}{0,268} = 2,03,$$

$$l_2 = \frac{1,500 - 0,415}{2 \tan 3,5^\circ} = \frac{0,545}{0,061} = 8,90,$$

$$L = 2,03 + 8,90 = 10,93.$$



Rys. 52.

¹⁾ μ_t z danej instalacji może być ściślej obliczone, jeśli są znane długość i średnica rury.

Podług (195):

$$\mu' i = \frac{\mu_i \cdot n^{2,7}}{256} = \frac{610,3,66^{2,7}}{256} = 82.$$

Sprawdzenie: $a_0 = 1,9$

$$a'_1 = a_1 \frac{n'_1}{n_1} = 0,63 \frac{1,98}{0,33} = 3,76$$

$$A'_1 = a_0 + a'_1 = 1,9 + 3,76 = 5,66 \rightarrow M'_1 = 4,5$$

$$M_2 = 120$$

$$\mu'_1 = 82$$

$$\leftarrow M'_0 = 206,5$$

$$A'_0 = 0,840$$

$$Q'_0 = \frac{0,84 \sqrt{32}}{0,30} = 12,5$$

$$q'_0 = \frac{12,5 \cdot 1,9'}{5,66} = 4,2$$

$$q'_1 = \frac{12,5 \cdot 3,76}{5,66} = 8,3.$$

Gdybyśmy to samo zadanie zechcieli rozwiązać zapomocą tamy regulacyjnej w a_0 , otrzymalibyśmy:

$$a'_0 = \frac{a'}{1,98} = \frac{0,63}{1,98} = 0,32$$

$$\frac{a_1}{a'_1} = \frac{0,65}{0,95}$$

$$A'_1 = a'_0 + a'_1 = 0,95 \rightarrow M'_1 = 158$$

$$M_2 = 120$$

$$A'_0 = 0,72$$

$$\leftarrow M'_0 = 278.$$

$$Q'_0 = \frac{0,72 \sqrt{32}}{0,38} = 11,2$$

$$q'_0 = \frac{11,2 \cdot 0,32}{0,95} = 3,78$$

$$q'_1 = \frac{11,2 \cdot 0,63}{0,95} = 7,42.$$

Z tego więc widoczne, że regulowanie zapomocą inżektora, zmieniając w mniejszem stopniu otwór równoznaczny ogólny, może być bardziej wygodnem, aniżeli regulowanie zapomocą tam regulacyjnych. W porównaniu zaś z wentylatorem wtórnym inżektory Petita są dlatego wygodniejsze, że nie wymagają żadnego wydatku energii dodatkowej, nadto, zmieniając tylko w małym stopniu otwór równoznaczny ogólny, nie wpływają znacznie na współczynnik pracy użytecznej wentylatora głównego.

W powyżej przytoczonym przykładzie depresja dodatkowa wentylatora wtórnego byłaby:

$$h_x = H \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2} \left(\frac{\mu_x}{m_2 - \mu} \right) = 32 \cdot \frac{22,5}{142,5} \cdot \frac{350}{360 - 350} = 177 \text{ mm.}$$

przytem:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1,9 \\ a'_1 &= 3,76 \\ A' &= 5,66 \rightarrow M' = 4,5 \\ &\quad \underline{M_2 = 120} \\ A_0 &= 1,08 \leftarrow M'_0 = 124,5. \end{aligned}$$

Skąd:

$$Q = \frac{1,08\sqrt{32}}{0,38} = 16,2$$

$$q'_0 = \frac{16,2 \cdot 1,9}{5,66} = 5,5$$

$$q'_1 = \frac{16,2 \cdot 3,76}{5,66} = 10,7.$$

Praca wentylatora pierwotnego: $N_1 = \frac{16,2 \cdot 32}{75} = 6,9 \text{ HP.}$

„ „ wtórnego: $N_2 = \frac{10,7 \cdot 177}{75} = 25,6 \text{ HP.}$

Użyteczna praca inżektora określa się w sposób następujący:
Depresja:

$$h_x = H \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2} \left[\frac{\mu_x + \mu_t}{m_2 + \mu_t - (\mu_x + \mu_t)} \right].$$

Praca: $N = \frac{q_1 \cdot h_x}{75}.$

Więc w przytoczonym powyżej przykładzie:

$$h_x = 32 \cdot \frac{22,5}{142,5} \cdot \frac{610}{10} = 315,$$

$$N_1 = \frac{8,3 \cdot 315}{75} = 35 \text{ HP.}$$

Kosztem jedynie zmniejszenia otworu równoznacznego ogólnego o 14% zupełnie zadarmo osiąga się pracę 35 HP. W innych przypadkach może być osiągnięte nawet zwiększenie otworu równoznacznego. Na tej zasadzie:

W praktyce wentylatorów wtórnych powinno się używać jedynie dla przewietrzania ślepych wyrobisk lub pól, połączonych z pozostałą częścią kopalni jednym długim wyrobiskiem, t. j. wtedy, gdy ilości absolutne powietrza są nieznaczne i prace wykonywane nie są wielkie. Przeciwnie dla uregulowania podziału powietrza w wielkich systemach kopalniowych, inżektory Petit'a powinny znaleźć szerokie zastosowanie, jako przyrządy bardzo proste a mogące wykonać znaczną pracę dodatkową sposobem najbardziej ekonomicznym.

ROZDZIAŁ VII.

REGULOWANIE ODJEMNE I MIESZANE W SYSTEMACH PROSTYCH PRZEKĄTNYCH NATURALNYCH.

§ 31. Regulacja stosunkowa odjemna. Regulowanie stosunkowe w systemach przekątnych, jak wiadomo, polega przede wszystkim na wyznaczaniu tych z 5 bocznic systemu, które mają zmienić swój opór. Problem ten rozwiązuje się w zależności od zmian zachodzących w pozycjach hiperbol zasadniczych pod wpływem zmian oporów bocznic. Rys. 28 i 29 (str. 50, 51) zawierają wszystkie możliwe pozycje hiperbol przy regulacji dodatniej, t. j. w przypadku, gdy opory się zwiększają. Nietrudno wywnioskować, jakie zmiany mogą zachodzić w pozycjach hiperbol przy regulacji odjemnej, t. j. przy zmniejszaniu oporów. Wszystkie możliwe zmiany przy regulacji odjemnej są właśnie uwidocznione na rys. 53 i 54. Mianowicie:

Rys. 53 wskazuje zmiany, zachodzące przy regulacji odjemnej w a, b, a', b' , bez udziału bocznic przekątnej.

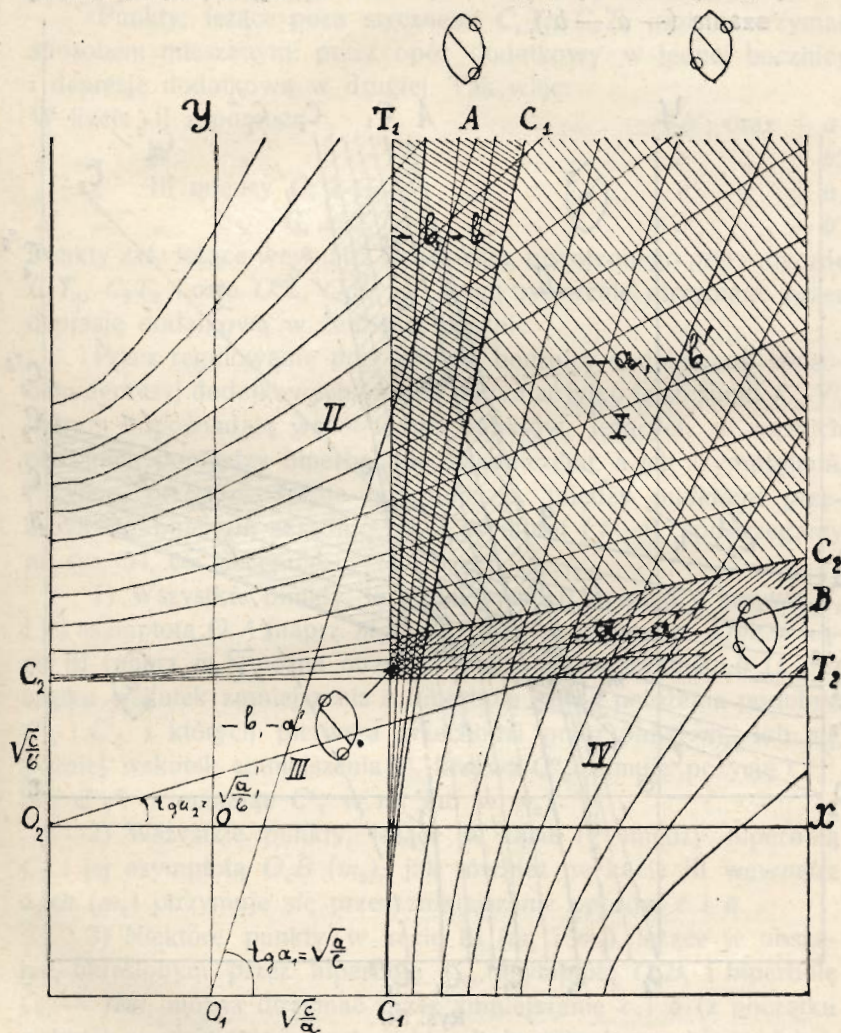
Rys. 54 wskazuje zmiany, zachodzące przy udziale bocznic c .

Na rys. 53 nie trudno zauważyć, że przy zmniejszaniu oporu a hiperbola C_1 oddala się w nieskończoność, pochylając się ku osi OX . Stosunki X i Y zwiększają się więc do ∞ i system obraca się, gdy O_1A staje się równoległą do O_2B . Przy zmniejszaniu b , hiperbola C_1 , zachowując wierzchołek w punkcie stałym, wyprostowuje się, dążąc do nakrycia się ze styczną C_1T_1 . Stosunki X i Y zmniejszają się, dążąc do pewnych wielkości granicznych.

Przy zmniejszaniu oporu a' hiperbola C_2 , zachowując swój wierzchołek w punkcie stałym, wyprostowuje się i dąży do nakrycia się ze styczną C_2T_2 , przyczem stosunki X i Y zmniejszają się, dążąc do pewnych wielkości granicznych.

Przy zmniejszaniu oporu b' , hiperbola C_2 oddala się w nieskończoność, pochylając się ku osi OY , przyczem stosunki X i Y zwiększają się do ∞ , i system obraca się, gdy O_2B staje się $\parallel O_1A$.

Przy zmniejszaniu c (rys. 54) obydwie hiperbole, zachowując pozycje podobne, zbliżają się do swoich asymptot, nakrywając się z nimi przy $c = 0$, przytem stosunki $X_1 Y_1$ zmniejszają się, będąc



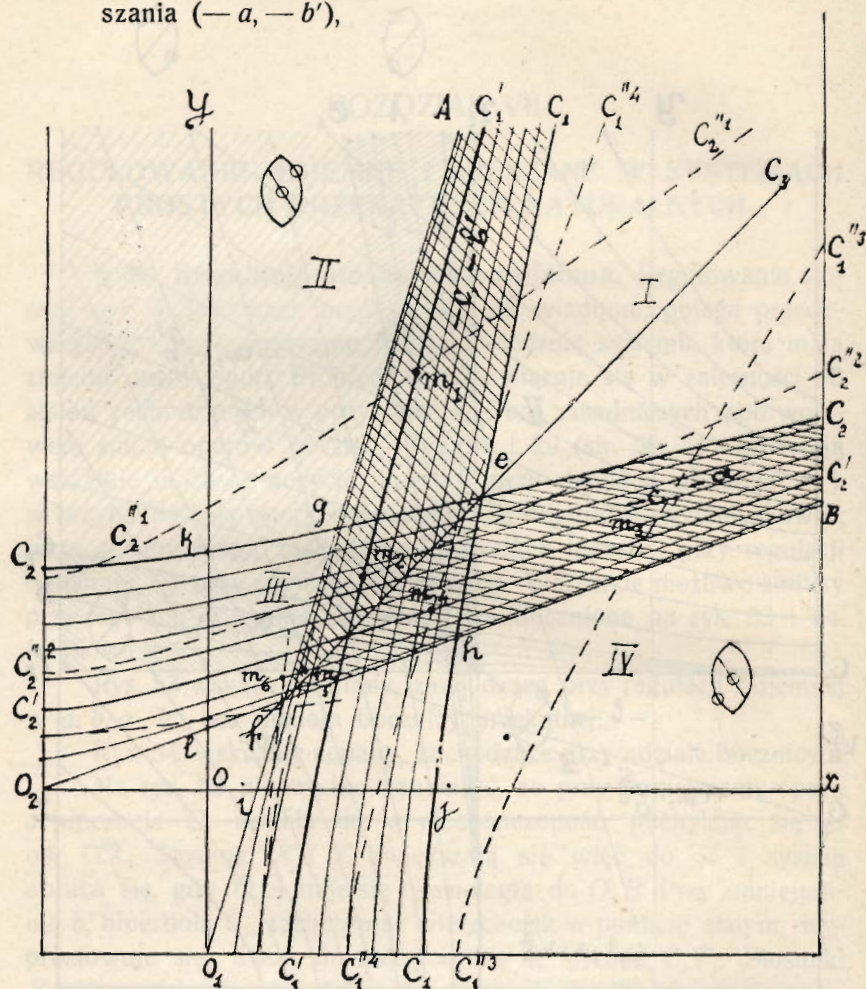
Rys. 53.

współrzędnymi punktu hiperboli C_3 i dążą do pewnych wielkości najmniejszych, które są współrzędne punktu przecięcia się asymptot.

Z rys. 53 widać, że bez udziału bocznic c można przez regulowanie odjemne otrzymać tylko takie stosunki X_1, Y_1 , które odpowiadają współrzędnym punktów, leżących wewnątrz górnego pra-

węgo kąta prostego, utworzonego przez styczne do wierzchołków hiperbol C_1T_1 , C_2T_2 , przytem:

w kącie I (utworzonym przez hiperbole C_1, C_2) zapomocą zmniejszania ($-a, -b'$),



Rys. 54.

w kącie II (utworzonym przez hiperbole C_1, C_2) — zapomocą zmniejszania ($-b, -b'$),

w kącie III (utworzonym przez hiperbole C_1, C_2) — zapomocą zmniejszania ($-b, -a'$),

w kącie IV (utworzonym przez hiperbole C_1, C_2) — zapomocą zmniejszania ($-a, -a'$).

Porównyując te sposoby ze znanymi sposobami regulowania dodatniego (rys. 28), nie trudno spostrzedz, że odpowiadają one sposobom stosowanym w kątach wzajemnie przeciwległych.

Punkty, leżące poza stycznymi C_1T_1 , C_2T_2 można otrzymać sposobem mieszanym: przez opór dodatkowy w jednej bocznicy i depresję dodatkową w drugiej. Tak więc:

W kącie II zapomocą — b' , oraz $+a$,
 „ „ IV „ — a , „ $+b'$,
 „ „ III między C_2 i C_2T_2 — a' , „ $+a$,
 „ „ „ „ C_1 i C_1T_1 — b , „ $+b'$.

Punkty zaś, leżące wewnątrz prostokąta, utworzonego przez styczne C_1T_1 , C_2T_2 i osie $O\mathcal{X}$, $O\mathcal{Y}$, nie mogą być wcale otrzymane przez depresję dodatkową w żadnej z bocznic.

Przez regulowanie przy udziale bocznicy c , dokonane sposobem depresyj dodatkowych, można otrzymać tylko te stosunki X' , Y' , którym odpowiadają współrzędne punktów, leżących w wązkich obszarach pomiędzy hiperbolami zasadniczymi, a ich asymptotami. Przytem, przeprowadzając hiperbolę C_3 między punktami przecięcia się hiperbol zasadniczych i asymptot ($f-e$), spostrzegamy na rys. 54, co następuje:

1) Wszystkie punkty, leżące w kącie II pomiędzy krzywą C_1 i jej asymptotą O_1A (naprz. m_1), jak również wewnątrz Δfge w kącie III (naprz. m_2) można otrzymać przez zmniejszenie c i b' (z początku wskutek zmniejszenia c , hiperbole zajmą położenia podobne C'_1 i C'_2 , z których pierwsza przechodzi przez punkt m_1 , lub m_2 , później wskutek zmniejszenia b' , krzywa C'_2 zajmuje pozycję $C''_2{}^1$, lub $C''_2{}^2$, przecinając C'_1 w m_1 lub w m_2).

2) Wszystkie punkty, leżące w kącie IV między hiperbolą C_2 i jej asymptotą O_2B (m_3), jak również w kącie III wewnątrz Δfeh (m_4) otrzymuje się przez zmniejszenie oporów c i a .

3) Niektóre punkty w kącie III (m_5 i m_6), leżące w obszarze, określonym przez hiperbolę C_2 , asymptotę O_2B , i hiperbolę C_3 — $fekl$, można otrzymać przez zmniejszenie c i b (z początku wskutek zmniejszenia c obydwie hiperbole zajmują pozycje podobne C'_1 oraz C'_2 , z których druga przechodzi przez punkt m_5 albo m_6 , potem wskutek zmniejszania b hiperbola C_1 wyprostowuje się i przecina hiperbolę C_2 w punkcie m_5 albo m_6).

4) Niektóre zaś punkty w kącie III (m_7), leżące wewnątrz obszaru określonego hiperbolą C_1 , jej asymptotą O_1A , i hiperbolą C_3 — $feij$ — można otrzymać przez zmniejszanie oporów c i a' .

Sposoby 3 i 4 nie pokrywają w całości wskazanych obszarów. Po przeprowadzeniu hiperboli podobnej C'_2 przez punkty m_1 lub m_2 , leżące wewnątrz obszaru *fekl* (rys. 55), lub C'_1 przez punkty m_3 lub m_4 wewnątrz obszaru *feij*, jesteśmy w stanie drugą hiperbolę skierować przez te same punkty przez zmniejszanie b w pierwszym przypadku, lub a' w drugim — tylko wówczas, jeżeli zadany punkt m_1 , lub m_3 nie leży poza styczną $C'_1T'_1$ lub $C'_2T'_2$, jak na przykład punkty m_2 i m_4 . Przy każdej danej pozycji hiperbol C'_1 i C'_2 przez depresję w b tylko te punkty mogą być otrzymane w górnej części kąta III, które leżą na odcinku t'_1e' hiperboli C'_2 , pomiędzy hiperbolą C_3 a styczną $C'_1T'_1$ do wierzchołka hiperboli C'_1 , przez depresję zaś w bocznicę a' tylko te punkty w dolnej części kąta III, które leżą na odcinku t'_2e' hiperboli C'_1 pomiędzy hiperbolą C_3 a styczną $C'_2T'_2$ we wierzchołku hiperboli C'_2 .

Przy posuwaniu się punktu przecięcia się hiperbol C'_1 i C'_2 wzdłuż hiperboli C_3 od e ku f punkty t'_1 i t'_2 przesuwają się wzdłuż pewnych linii, których punktami krańcowymi są: punkty t_1, t_2 przecięcia się jednej z hiperbol zasadniczych ze stycznymi do wierzchołka drugiej hiperboli, oraz punkty przecięcia się asymptot z osiami współrzędnych l i j .

Punkty leżące wewnątrz figury *lfet*₁ otrzymuje się przez depresje dodatkowe w c i b .

Punkty leżące wewnątrz figury *jfet*₂ otrzymuje się przez depresje dodatkowe w c i a' .

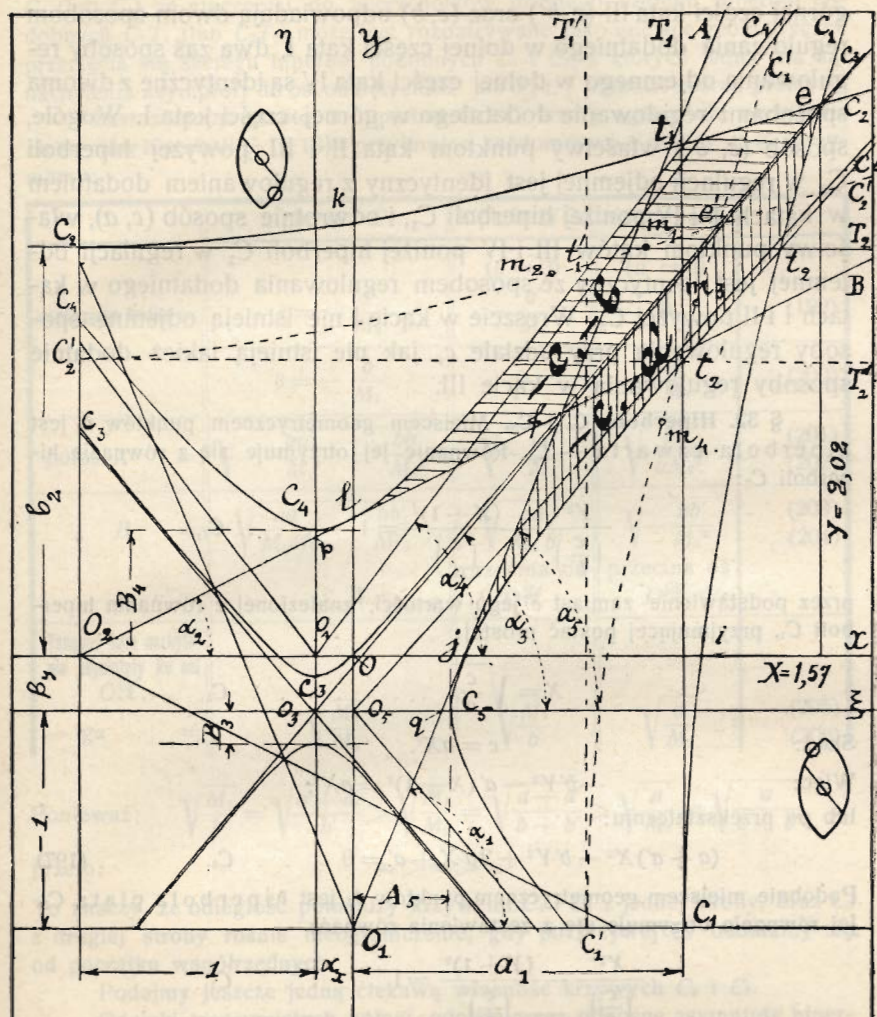
Inne punkty mogą być otrzymane sposobem mieszanym. Tak więc:

Punkty leżące wewnątrz trójkąta *lkt*₁ (m_2) otrzymuje się przez — c , $+a$.

Punkty zaś leżące wewnątrz trójkąta *jit*₂ (m_4) otrzymuje się przez — c_1 , $+b'$.

Żadne inne punkty, leżące poza obszarami, określonymi przez hiperbole zasadnicze i odpowiednie asymptoty, nie mogą być wcale otrzymane regulacją odjemną przy udziale bocznic c .

Porównyując odjemne sposoby regulowania z dodatnimi przy udziale bocznic c (rys. 29 str. 51) spostrzegamy, że są one jednakowe w kątach wzajemnie przeciwległych. Naprz., odjemna regulacja dla kąta II (c, b') odpowiada dodatniej regulacji dla kąta IV, naodwrot odjemna regulacja dla kąta IV (c, a) odpowiada dodatniej regulacji dla kąta II. Dwa sposoby regulowania odjemnego



$a = 25$ $a' = 4$ $b = 4$ $b' = 16$ $M_1 = a + a' = 29$ $M_2 = b + b' = 20$ $C = 36$		$a_1 = \sqrt{\frac{C}{a}} = 1,2$ $b_1 = \sqrt{\frac{C}{b}} = 1,5$ $\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{a}{b}} = 2,5$ $\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} = 0,5$ $X = 1,57$ $Y = 2,02$			
		C_3	C_4	C_5	
$\alpha_x = -\frac{a}{M_1} = -0,138$		$-\frac{a}{M_1} = -0,138$	0	0	
$\beta_y = -\frac{b}{M_2} = -0,200$		0	0	$-\frac{b}{M_2} = -0,200$	
$A =$				$\sqrt{\frac{a b'}{a' b}} = 0,357$	
$B = \sqrt{\frac{a a'}{M_1 M_2}} - \frac{b b'}{M_2} = 0,114$			$\sqrt{\frac{a a'}{M_1 M_2}} = 0,463$		
$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = 1,2$			$\sqrt{\frac{M_1}{b}} = 1,34$	$\sqrt{\frac{a}{M_2}} = 1,12$	

Rys. 55.

górnjej części kąta III (c, b') oraz (c, b) odpowiadają dwóm sposobom regulowania dodatniego w dolnej części kąta I, dwa zaś sposoby regulowania ujemnego w dolnej części kąta IV są identyczne z dwoma sposobami regulowania dodatniego w górnej części kąta I. Wogóle, sposób (c, b') właściwy punktom kąta II i III powyżej hiperboli C_3 w regulacji ujemnej jest identyczny z regulowaniem dodatnim w kątach I i IV poniżej hiperboli C_3 , i odwrotnie sposób (c, a) , właściwy punktom kątów III i IV poniżej hiperboli C_3 w regulacji ujemnej jest identyczny ze sposobem regulowania dodatniego w kątach I i II powyżej C_3 . Wreszcie w kącie I nie istnieją ujemne sposoby regulowania przy udziale c , jak nie istnieją także dodatnie sposoby regulowania w kącie III.

§ 32. Hiperbole C_4 i C_5 . Miejszem geometrycznem punktów t_1 jest hiperbola czwarta — C_4 . Równanie jej otrzymuje się z równania hiperboli C_2 :

$$\frac{Y^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(X+1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} = 1 \quad \dots \quad C_2,$$

przez podstawienie zamiast c jego wartości, znalezionej z równania hiperboli C_1 , przyjmującej postać prostej:

$$X = \sqrt{\frac{c}{a}} \quad \dots \quad C_1.$$

Skąd: $c = aX^2$.

Więc: $b'Y^2 - a'(X+1)^2 = aX^2$,

lub po przekształceniu:

$$(a+a')X^2 - b'Y^2 + 2a'X + a' = 0 \quad \dots \quad C_4. \quad (197)$$

Podobnie miejscem geometrycznem punktów t_2 jest hiperbola piąta C_5 . Jej równanie otrzymuje się z zestawienia równań:

$$\frac{X^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(Y+1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} = 1 \quad \dots \quad C_1.$$

$$Y = \sqrt{\frac{c}{b'}} \quad \dots \quad C_2$$

i ma postać:

$$aX^2 - (b+b')Y^2 - 2bY - b = 0 \quad \dots \quad C_5. \quad (198)$$

Też same równania mogą być wyprowadzone z równania trzeciej hiperboli zasadniczej:

$$(a+a')X^2 - (b+b')Y^2 + 2aX - 2bY + (a'-b) = 0 \quad \dots \quad C_3,$$

jeżeli przyjmiemy kolejno $b=0$, $a'=0$, co jest zupełnie zrozumiałem, ponieważż miejsce geometryczne punktów przecięcia się szeregu hiperbol podobnych

C_2 (lub C_1) ze stycznymi do wierzchołków drugiego szeregu hiperbol podobnych C_1T_1 (lub C_2T_2) może być rozpatrywane jako miejsce geometryczne przecięcia się szeregu hiperbol podobnych C_1 i C_2 , z których jedna ma kąt nachylenia asymptoty do osi odciętych 90° lub 0° , t. j. stanowi szereg prostych.

Zastosowując przeto do hiperbol C_4 i C_5 wzory ogólne dla określenia elementów hiperboli C_3 (§ 13) i przyjmując każdorazowo $b = 0$, $a' = 0$, otrzymamy:

	hiperbola C_3	hiperbola C_4	hiperbola C_5	
współrzędne środka =	$\alpha = -\frac{a'}{M_1}$	$(b = 0)$ $-\frac{a'}{M_1}$	$(a' = 0)$ 0	(199)
	$\beta = -\frac{b}{M_2}$	0	$-\frac{b}{M_2}$	(200)
półś A =	$\sqrt{-\frac{aa'}{M_1^2} + \frac{bb'}{M_2^2}}$	$\sqrt{-\frac{aa'}{M_1^2}}$	$\sqrt{\frac{bb'}{aM_2^2}}$	(201) (202)
" B =	$\sqrt{\frac{aa'}{M_1M_2} - \frac{bb'}{M_2^2}}$	$\sqrt{\frac{aa'}{M_1b'}}$	$\sqrt{-\frac{bb'}{M_2^2}}$	(203) (204)
Tangens kąta nachylenia asymptoty ku osi $O\mathcal{X}$:		przecina oś $O\mathcal{Y}$	przecina oś $O\mathcal{X}$.	
$-\operatorname{tg}\alpha =$	$\sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$	$\sqrt{\frac{M_1}{b'}}$	$\sqrt{\frac{a}{M_2}}$	(205) (206)

Ponieważ: $\sqrt{\frac{M_1}{b'}} = \sqrt{\frac{a+a'}{b'}} > \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = \sqrt{\frac{a+a'}{b+b'}} > \sqrt{\frac{a}{M_2}} = \sqrt{\frac{a}{b+b'}}$

przeto:

$$\alpha_4 > \alpha_3 > \alpha_5.$$

To znaczy, że odległość pomiędzy krzywymi C_4 i C_5 z jednej strony, oraz C_3 z drugiej strony rośnie nieograniczenie, gdy po krzywej C_3 oddalamy się od początku współrzędnych.

Podajmy jeszcze jedną ciekawą własność krzywych C_4 i C_5 .

Odcinki rzeczywistych półosi, odcięte przez odpowiednie asymptoty hiperbol zasadniczych, mają wartości:

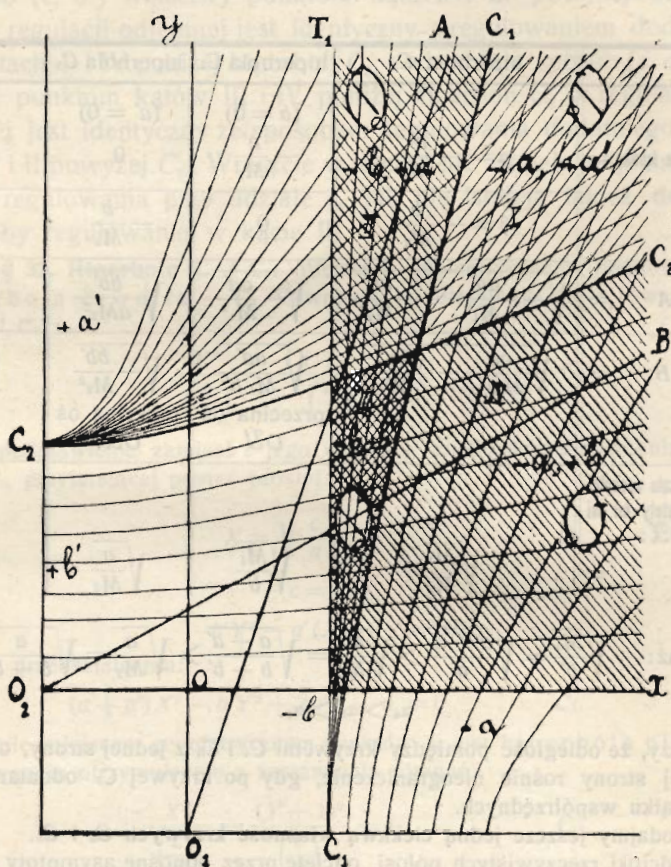
$$O_4p = O_3O_1 \operatorname{tg}\alpha_2 = (1 - \alpha_x) \operatorname{tg}\alpha_2 = \left(1 - \frac{a'}{a+a'}\right) \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \frac{a}{a+a'} \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \frac{a}{M_1} \sqrt{\frac{a'}{b'}}$$

$$O_5q = O_1O_3 \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_1} = (1 - \beta_y) \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \left(1 - \frac{b}{b+b'}\right) \sqrt{\frac{b}{a}} = \frac{b'}{b+b'} \sqrt{\frac{b}{a}} = \frac{b'}{M_2} \sqrt{\frac{b}{a}}$$

$$\text{lecz } O_4C_4 = B_4 = \sqrt{\frac{a}{M_1}} \sqrt{\frac{a'}{b'}}, \text{ oraz } O_5C_5 = A_5 = \sqrt{\frac{b'}{M_2}} \sqrt{\frac{b}{a}}.$$

Ponieważ ułamki $\frac{a}{M_1}$, $\frac{b'}{M_2} < 1$, przeto ich pierwiastki są większe od

nich samych. Czyli rzeczywiste półosie hiperbol C_4 i C_5 są większe od ich odcinków, określonych przez asymptoty odnośnych hiperbol. Ponieważ z drugiej strony punkty l i j przecięcia się tych asymptot z osiami współrzędnych należą do hiperbol C_1 i C_3 , przeto obydwie hiperbole w punktach tych są styczne do asymptot hiperbol zasadniczych. Na rys. 55 wykreślone są wszystkie hiperbole: C_1 , C_2 , C_3 , C_4 i C_5 w celu uwidocznienia ich wzajemnej pozycji,

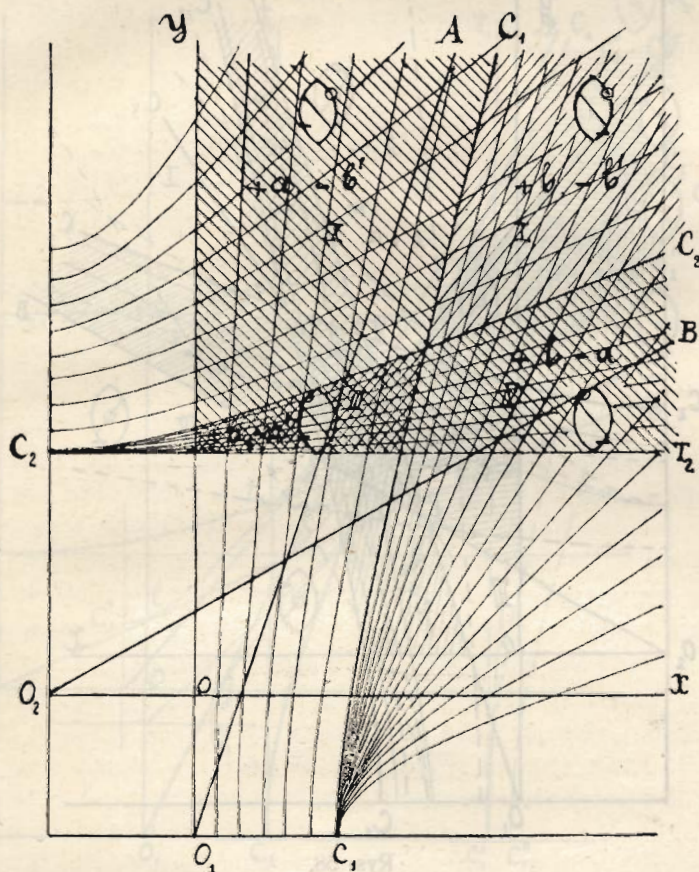


Rys. 56.

i dane są wartości liczbowe ich elementów dla przypadku $a = 25$, $a' = 3,345$, $b = 2,25$, $b' = 20,85$, $c = 100$.

W zadaniach praktycznych celem narysowania krzywych C_1 i C_3 , wystarczy przeciągnąć przez punkt t_1 prostą $t_1t'_1$ pod kątem nachylenia asymptoty $C_1 - \operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{M_1}{b'}}$, przez punkt e prostą eC_3 pod kątem nachylenia asymptoty $C_3 - \operatorname{tg} \alpha_3 = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$, wreszcie przez punkt t_2 prostą $t_2t'_2$ pod kątem na-

chylenia asymptoty $C_5 - \operatorname{tg} \alpha_5 = \sqrt{\frac{a}{M_2}}$. Te proste będą niemal pokrywały się z kierunkiem samych hiperbol. W granicach obszaru kąta III hiperbole C_4 i C_5 są niemal równoległe do hiperboli C_3 , która pomiędzy punktami f i e jest niemal prostą. Wobec tego, prościej jest po przeprowadzeniu prostej fe przeciągnąć przez punkty t_1 i t_2 proste równoległe do ef , oraz, zaokrąglając na oko ich końce dolne, połączyć z punktami przecięcia się asymptot hiperbol zasadniczych z osiami współrzędnych l i j .

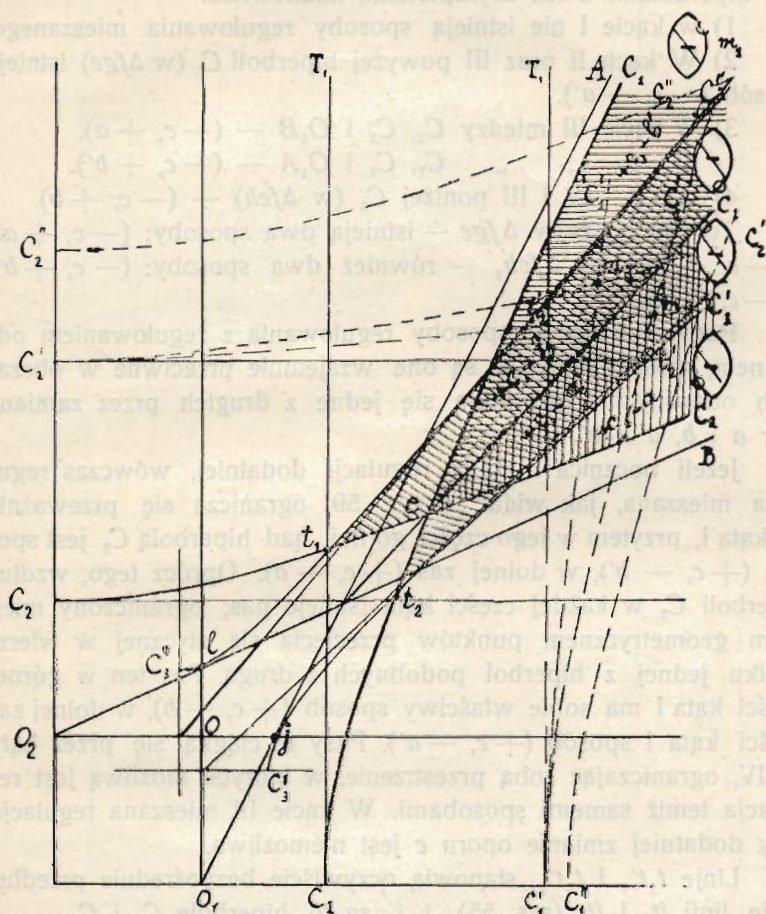


Rys. 57.

§ 33. Sposoby mieszane regulowania na ogół nie są jednoznacznie określone w obszarach wyżej wskazanych. Istotnie, z rys. 56 i 57 spostrzegamy, że bez udziału bocznic c :

1) punkty leżące w kącie I mogą być otrzymane sposobem $(-a, +a')$ lub $(+b, -b')$;

cach o literach jednakowych, właściwych sposobom regulowania dodatniego lub ujemnego w obydwu bocznicach w kątach II i IV i odwrotnie. Sposoby zaś mieszanego regulowania dla kątów II i IV odpowiadają sposobom regulowania dodatniego lub ujemnego dla kąta I lub III.



Rys. 59.

3) Dwa sposoby regulowania w każdym kącie mają tę własność, że jeden z drugiego się otrzymują przez zamianę liter a i b , a' i b' , przy jednoczesnej zmianie znaku.

4) Sposoby w kątach przeciwnych o tych samych literach mają przy nich znaki przeciwne.

Mieszane sposoby regulowania przy udziale bocznicy c wynikają z rys. 58 i 59.

Jeżeli odjemnej regulacji ulega bocznica c (rys. 58), wówczas naogół można otrzymać stosunki X' , Y' odpowiadające współrzędnym punktów leżących wewnątrz wąskich obszarów pomiędzy hiperbolami a ich asymptotami, mianowicie:

1) w kącie I nie istnieją sposoby regulowania mieszanego.
2) W kącie II oraz III powyżej hiperboli C_3 (w Δfge) istnieje sposób $(-c, +a')$.

3) W kącie III między C_2 , C_3 i O_2B — $(-c, +a)$.

" " " " C_1 , C_3 i O_1A — $(-c, +b')$.

4) " " IV i III poniżej C_3 (w Δfeh) — $(-c, +b)$.

To znaczy, że w Δfge — istnieją dwa sposoby: $(-c, +a')$ i $(-c, +a)$, a w Δfeh_1 — również dwa sposoby: $(-c, +b')$ i $(-c, +b)$.

Porównyując te sposoby regulowania z regulowaniem odjemnem, spostrzegamy, że są one wzajemnie przeciwne w obszarach odnośnych i otrzymują się jedno z drugich przez zamianę liter a i b , a' i b' .

Jeżeli bocznica c ulega regulacji dodatniej, wówczas regulacja mieszana, jak widać z rys. 59, ogranicza się przeważnie do kąta I, przytem w jego części górnej, nad hiperbolą C_3 jest sposób $(+c, -b')$, w dolnej zaś $(+c, -a)$. Oprócz tego, wzdłuż hiperboli C_3 w każdej części kąta istnieje pas, ograniczony miejscem geometrycznym punktów przecięcia się stycznej w wierzchołku jednej z hiperbol podobnych z drugą. Pas ten w górnej części kąta I ma sobie właściwy sposób $(+c, -b)$, w dolnej zaś części kąta I sposób $(+c, -a')$. Pasy te ciągną się przez kąty II i IV, ograniczając sobą przestrzenie, w których możliwą jest regulacja temież samemi sposobami. W kącie III mieszana regulacja przy dodatniej zmianie oporu c jest niemożliwą.

Linje $t_1t'_1$ i $t_2t'_2$, stanowią oczywiście bezpośrednie przedłużenie linii lt_1 i jt_2 (rys. 55), t. j. są to hiperbole C_4 i C_5 .

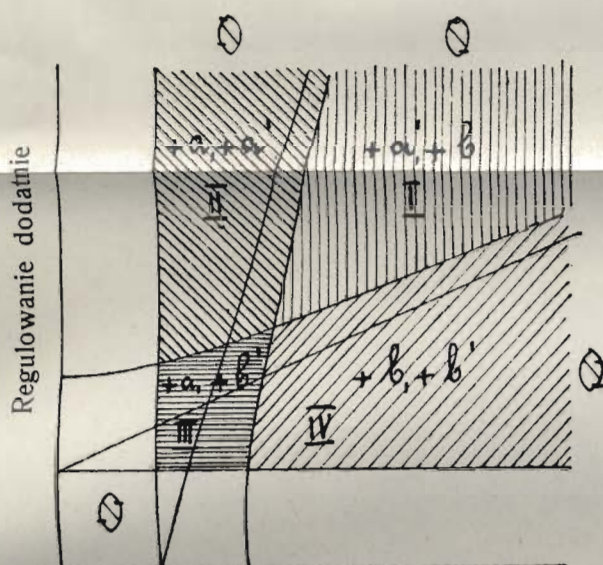
Porównanie z regulowaniem odjemnem wskazuje, że ogólne metody regulowania całego obszaru każdej części kąta I są identyczne ze sposobami, które są właściwe przyległym częściom kątów II i IV; sposoby zaś regulowania w wąskich pasach przy hiperboli C_3 są analogiczne do sposobów dla tych pasów w kącie III.

§ 34. Zestawienie wszystkich sposobów regulowania systemu przekątnego naturalnego. W ten sposób, odjemne

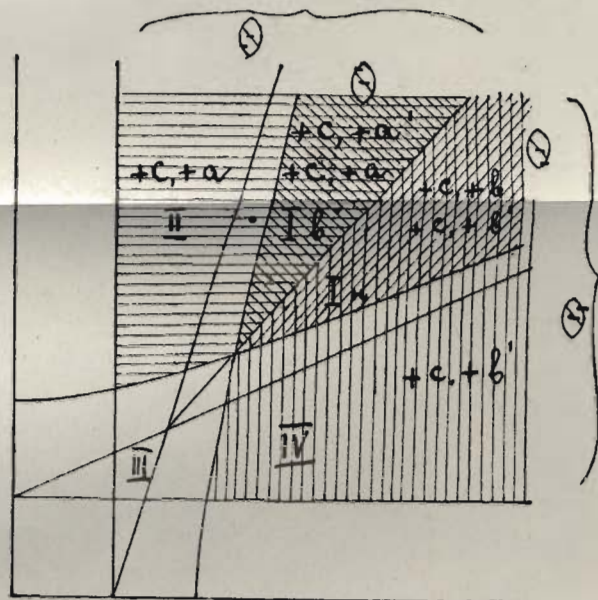
Tablica synoptyczna wszystkich sposobów regulowania systemu przekątnego naturalnego.

Bez udziału bocznic c :

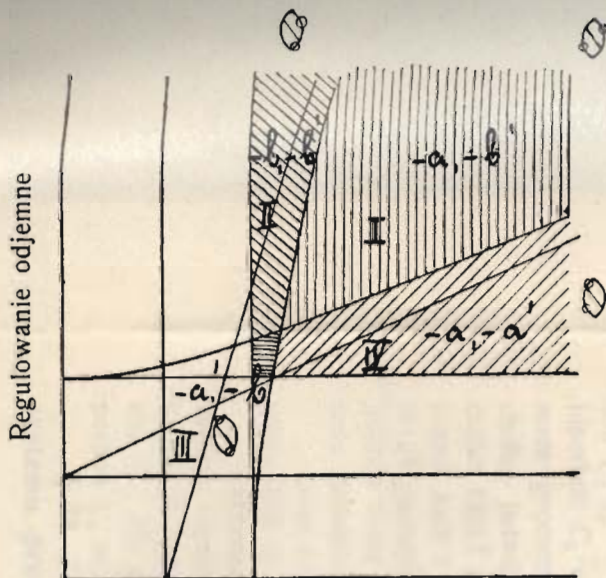
Przy udziale bocznic c :



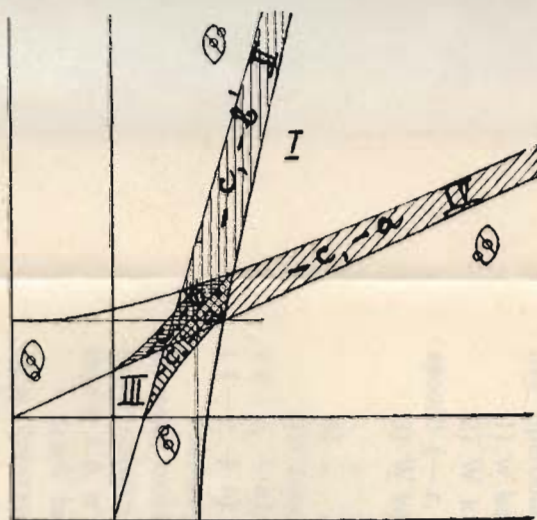
Rys. 60.



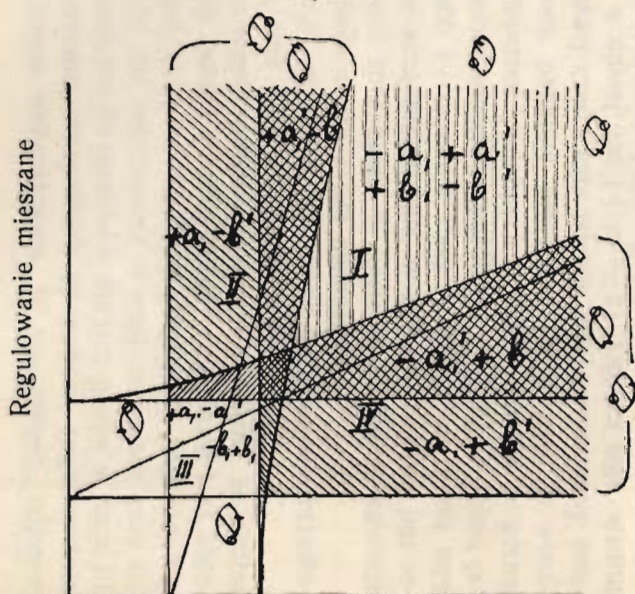
Rys. 61.



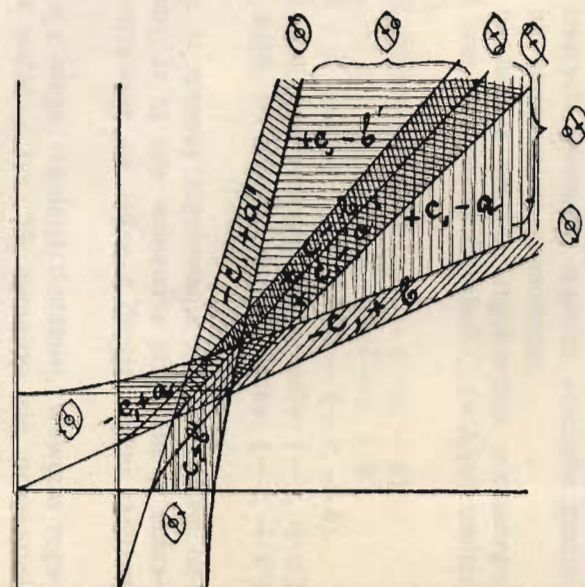
Rys. 62.



Rys. 63.



Rys. 64.



Rys. 65.

i mieszane sposoby regulowania systemów przekątnych uzupełniają wielorakość sposobów ich regulowania. Niżej podana jest tabelka synoptyczna (str. 140) i wykresy (rys. 60—65) na osobnej tablicy, dla zestawienia wszystkich możliwych sposobów regulowania systemu przekątnego naturalnego.

§ 35. Ogólny bieg rozwiązania problemów regulowania. Żeby określić, który ze sposobów regulowania odjemnego lub mieszanego może być zastosowanym dla otrzymania z góry zadanych stosunków X' , Y' , trzeba wiedzieć, w którym kącie i w jakiej jego części leży punkt, którego współrzędne są dane X' , Y' . Dlatego należy przedewszystkiem narysować wykres hiperbol.

Jeżeli zadanie dotyczy systemu istniejącego w rzeczywistości ze znanymi X , Y , wówczas, korzystając z cech ogólnych przynależności punktu X' , Y' do pewnych kątów (na podstawie danych § 12) można z dostatecznem prawdopodobieństwem określić kąt ten przez porównanie wielkości zadanych $X'Y'$ z istniejącymi X , Y . Lecz ponieważ przy regulowaniu odjemnem lub mieszanem, zwłaszcza zaś z udziałem bocznicy c obszary, którym właściwe są określone sposoby regulowania, są ograniczone różnemi warunkami, przeto przy rozwiązaniu na zasadzie tylko domysłu jest mniej szans, by zrobić wniosek prawidłowy, aniżeli przy regulowaniu dodatniem.

Tak więc, przy regulowaniu odjemnem bez udziału bocznicy c , stosownie do rysunku 53 należy zawczasu określić wartości półosi

rzeczywistych $a_1 = \sqrt{\frac{c}{a}}$, jako wielkości granicznej dla X' , oraz

$b_2 = \sqrt{\frac{c}{b'}}$, jako wielkości granicznej dla Y' . Jeżeli jeden z zadanych

stosunków jest mniejszym od granic wskazanych, wówczas oczywiście sposoby bez udziału c są niemożliwe, lecz mogą być zastosowane sposoby mieszane albo odjemna regulacja z udziałem c . Sposoby zaś regulowania odjemnego z udziałem bocznicy c , jak widać z rys. 54 i 55, są właściwe stosunkowo wąskim strefom, a więc prawidłowy wniosek o możliwości zastosowania niektórych sposobów tej metody regulowania może być wyciągnięty wówczas, gdy półosie rzeczywiste O_1C_1 oraz O_2C_2 mają stosunkowo znaczne wartości, bo wtedy szerokość odnośnych obszarów staje się znaczną; to ma miejsce przy wielkim oporze bocznicy przekątnej c ; wtedy ryzyko dla wniosku nieprawidłowego o miejscu znajdowania się punktu żadanego jest mniejszem. We wszystkich tych przypadkach wygodniej jest narysować wykresy hiperbol.

TABLICA SYNOPTYCZNA WSZYSTKICH SPOSOBÓW REGULOWANIA SYSTEMU PRZEKĄTNIEGO NATURALNEGO.

Pozycja punktu X', Y'		REGULOWANIE:					
		Dodatkne		Odjemne		Mieszane	
		bez udz. c	przy udz. c	bez udz. c	przy udz. c	bez udz. c	przy udz. c
Kąt I	cały obszar	$+b, +a'$		$-a, -b'$		$-a, +a'$	$+c, -b'$
	część górna (nad C_3)		$+c, +a$			$+b, -b'$	$+c, -b'$
	pas $t, t_1/C_3$		$+c, +a'$				$+c, -a$
	część dolna (pod C_3)		$+c, +b$				$+c, -a'$
Kąt II	pas t_2/C_3						
	cały obszar	$+a, +a'$	$+c, +a$	$-b, -b'$		$+a, -b'$	$-c, +a'$
	między C_1T_1 i C_1					$-b, +a'$	$+c, -b$
	między O_1A i C_1						
Kąt III	pas t_1/C_3						
	cały obszar	$+a, +b'$		$-b, -a'$		$-b, +b'$	$-c, +b'$
	między C_1T_1 i C_1					$+a, -a'$	$-c, +a$
	między C_2T_2 i C_2						$-c, +a'$
Kąt IV	pas t_1/C_3						
	cały obszar	$+b, +b'$	$+c, +b'$	$-a, -a'$	$-c, -a$	$-a, +b'$	$-c, +b$
	między C_2T_2 i C_2					$+b, -a'$	
	pas t_2/C_3						
8 sposob.		12 sposobów		8 sposob.		12 sposobów	

Gdy wiemy już na tej lub innej podstawie, w jakim miejscu znajduje się punkt $X'Y'$, określamy wartości oporów odjemnych podług wzorów zasadniczych § 12 I—VI, przytem przy stosowaniu regulacji odjemnej dla wygody odnajdywania odpowiednich wzorów można korzystać z tablicy i rys. § 34, stosując wzory, odpowiadające kątom wzajemnie przeciwnym. Określając wartości μ_x podług odpowiednich wzorów, powinniśmy otrzymywać dla nich wartości odjemne. Jeżeli rozwiązanie da nam wielkości dodatnie, będzie to dowodziło, że wniosek dotyczący miejsca położenia danego punktu był mylnym i wówczas należy zrobić drugie przypuszczenie odpowiedniejsze, oraz rozwiązać zadanie na nowo i tak należy postępować dalej, aż nie otrzymamy wielkości odjemnych.

§ 36. **Przykład liczbowy.** Zastosujmy regulację odjemną do zadania § 16, rozwiązanego za pomocą regulacji dodatniej.

$$\begin{array}{l} \text{Dane są:} \\ a = 481 \\ b = 12 \\ a' = 51 \\ b' = 337 \\ c = 721. \end{array} \left. \begin{array}{l} X = 1,29 \\ Y = 1,71 \\ M = 67. \end{array} \right\} \text{ przy bocznicach wolnych.}$$

(Wykres hiperbol na rys. 30 str. 57).

Należy ustalić na 3-ciej zmianie zapomocą regulacji odjemnej stosunki:

$$X' = 8, \quad Y' = 1,570.$$

Przy regulowaniu dodatnim zadanie zostało rozwiązane przez tamy regulacyjne w bocznicach c i b' , przytem opór ogólny został osiągnięty $M = 329$. Przyjmując pod uwagę jeszcze $M_2 = 177$, jako opór elementów kolejno włączonych z systemem przekątnym, otrzymujemy opór ogólny całego systemu:

$$\text{przed uregulowaniem} \quad M_0 = 67 + 177 = 244,$$

$$\text{po uregulowaniu} \quad M'_0 = 329 + 177 = 506.$$

Ogólna ilość powietrza po uregulowaniu tamami zmniejsza się zatem w stosunku:

$$\frac{Q'_0}{Q} = \sqrt{\frac{M_0}{M'_0}} = \sqrt{\frac{244}{506}} = 0,69,$$

t. j. o 31%, przyczem przy $H = 40$ mm jest $Q = 8,90$. Wobec tak znacznego zmniejszenia ogólnej ilości powietrza powstaje pytanie, czy nie byłoby właściwiej zastosować regulację odjemną.

Jeżeli stosunki $X = 1,29$, $Y = 1,71$ systemu naturalnego znane są z pomiarów anemometrycznych, wówczas, ponieważ:

$$X' = 8 > 1,29 = X, \quad Y' = 1,57 < 1,71 = Y,$$

jasnym jest, że punkt $m(X', Y')$ znajduje się w kącie IV, a zatem dla re-

gulowania odjemnego powinniśmy zastosować sposób właściwy regulacji dodatniej w kącie II, t. j. (Tabl. § 34, lub podług rys. 53, 54).

1) — a , — a'
lub
2) — c , — a .

Dla rozstrzygnięcia o możliwości 1-go sposobu należy się przekonać, czy rzędna Y' nie wychodzi poza granicę najmniejszą możliwą:

$$b_1 = \sqrt{\frac{c}{b'}} = \sqrt{\frac{721}{337}} = 1,46 < Y' = 1,57,$$

zatem sposób (— a , — a') jest możliwym do zastosowania.

Co się tyczy drugiego sposobu, to bez wyrysowania hiperbol zasadniczych nie podobna wyciągnąć wniosku prawidłowego o możliwości jego zastosowania. Lecz w danym przypadku wystarczy nakreślić asymptotę O_2B , i gdyby punkt $X'Y'$ znalazł się powyżej tej asymptoty, to zważywszy, że się znajduje on w każdym razie w kącie IV, a zatem bezwarunkowo poniżej hiperboli C_2 , zrobilibyśmy wniosek, że leży on w pasie między hiperbolą a jej asymptotą, wskutek czego zastosowanie sposobu (— c , — a) byłoby możliwym. Gdyby natomiast okazało się, że punkt X', Y' leży poniżej asymptoty, wyciągnęlibyśmy wniosek o niemożliwości zastosowania tego sposobu (rys. 54). Po nadzwyczaj prostem wyrysowaniu tej asymptoty podług wzoru:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \sqrt{\frac{a'}{b'}} = \sqrt{\frac{51}{337}} = 0,39, \quad (\text{rys. 30})$$

łatwo się przekonać, że w danym przypadku punkt m leży pod nią, a zatem innego sposobu regulacji odjemnej, oprócz (— a , — a') dla rozwiązania danego problemu, zastosować nie można.

Odpowiednie wzory są: I i IV (dla kąta II w regulacji dodatniej § 12).

$$\text{podł. I} \quad \mu a = \frac{b(Y'+1)^2 + c}{(X')^2} - a = 12 \left(\frac{2,57}{8} \right)^2 + 721 \left(\frac{1}{8} \right)^2 - 481 = -469,$$

$$\text{„ IV.} \quad \mu a' = \frac{b'(Y')^2 + c}{(X'+1)^2} - a' = 337 \left(\frac{1,57}{9} \right)^2 - 721 \left(\frac{1}{9} \right)^2 - 51 = -49,7.$$

Znajdźmy opór ogólny systemu uregulowanego. Dlatego musimy przyjąć:

$$a = 481 - 469 = 12, \\ a' = 51 - 49,7 = 1,3.$$

Poczem:

$$M_1 = \frac{a(X')^2 + a'(X'+1)^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 12 \left(\frac{8}{10,57} \right)^2 + 1,3 \left(\frac{9}{10,57} \right)^2 = 7,85,$$

$$M_2 = \frac{b'(Y')^2 + b(Y'+1)^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 337 \left(\frac{1,57}{10,57} \right)^2 + 12 \left(\frac{2,57}{10,57} \right)^2 = 8,1,$$

$$M_3 = \frac{c + a'(X'+1)^2 + b(Y'+1)^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 721 \left(\frac{1}{10,57} \right)^2 + 1,3 \left(\frac{9}{10,57} \right)^2 + 12 \left(\frac{2,57}{10,57} \right)^2 = 8,15,$$

$$M' = \frac{1}{3}(M_1 + M_2 + M_3) = \frac{1}{3}(7,85 + 8,1 + 8,15) = 8,03,$$

$$\frac{M_2}{M'} = \frac{177}{185,03}.$$

Ogólna ilość powietrza zwiększa się w stosunku:

$$\frac{Q'}{Q} = \sqrt{\frac{M_0}{M'_0}} = \sqrt{\frac{244}{185}} = 1,15,$$

czyli o 15%.

Podług wzoru 166 § 27 znajdujemy potrzebne depresje dodatkowe:

$$\frac{h_x a}{h a} = \frac{\mu_x}{M - \mu_x} = \frac{469}{481 - 469} = \frac{469}{12} = 39,$$

oraz
$$\frac{h_x a'}{h a} = \frac{49,7}{51 - 49,7} = \frac{49,7}{1,3} = 38.$$

Przyjmując pod uwagę, że

$$\frac{h_a}{H} = \frac{a}{a + a'} \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2},$$

$$\frac{h_a'}{H} = \frac{a'}{a + a'} \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2},$$

znajdujemy:

$$\frac{h_x a}{H} = 39 \cdot \frac{481}{481 + 51} \cdot \frac{67}{244} = 9,7,$$

$$\frac{h_x a'}{H} = 38 \cdot \frac{51}{481 + 51} \cdot \frac{67}{244} = 1.$$

Jeżeli $H = 40$ mm.

wówczas:

$$h_x a = 40 \cdot 9,7 = 390 \text{ mm},$$

$$h_x a' = 40 \cdot 1 = 40 \text{ "}$$

Ilości powietrza:

$$Q = \sqrt{1000 \frac{h}{M}} = \sqrt{1000 \cdot \frac{40}{185}} = 15,$$

$$q_a = \frac{Q \cdot X}{(X + Y + 1)} = \frac{15 \cdot 8}{10,57} = 11,4,$$

$$q_{b'} = \frac{Q \cdot Y}{(X + Y + 1)} = \frac{15 \cdot 1,57}{10,57} = 2,2,$$

$$q_c = Q - q_a - q_{b'} = 15 - 11,4 - 2,2 = 1,4,$$

$$q_a' = q_a + q_c = 11,4 + 1,4 = 12,8,$$

$$q_b = q_{b'} + q_c = 2,2 + 1,4 = 3,6.$$

Praca dodatkowa:
$$N_a = \frac{11,4 \cdot 390}{15} = 59 \text{ HP},$$

$$N_a' = \frac{12,8 \cdot 40}{75} = 6,7 \text{ HP}.$$

Porównywując te ilości powietrza z określonymi przy regulowaniu dodatkiem 8,9 znajdujemy, że one są większe o 70%. W ten sposób regulowanie

odjemne nie pociągnie ograniczenia rozwoju robót w bocznicach c i b' , atoli osiąga się przy zbyt znacznym wydatku energii dodatkowej. Okoliczność ta wymaga więc innego rozwiązania problemu.

Stosunki $X' = 8$, $Y' = 1,57$ w warunkach zadania są tem uzasadnione, że przy normalnym biegu robót w bocznicach c i b' , w bocznicy a otrzymuje się niedostateczną ilość powietrza dla obsadzenia robót, gdzie warunki przewietrzania są bardzo niepomyślne (patrz warunki zadania w § 16). Przypuściliśmy, że w tej bocznicy przy normalnej obsadzie znajduje się 56 ludzi¹⁾, otrzymamy dla regulacji dodatniej na 1 człowieka na minutę:

$$qa = \frac{6,7 \cdot 60}{56} = 7,2,$$

przy odjemnej:
$$qa = \frac{11,4 \cdot 60}{56} = 12,2,$$

licząc, że na 1 człowieka wystarcza $6 \text{ m}^3/\text{min}$, oraz uwzględniając możliwość powiększenia ogólnej ilości powietrza przez regulację odjemną, można oczywiście, posługując się tą metodą, nie zatrzymywać robót w bocznicach b' i c .

Przypuścimy zatem, że w warunkach normalnych w tychże bocznicach znajduje się odpowiednio 58 i 19 ludzi (patrz § 16, druga zmiana). Wówczas cała ilość powietrza winna być rozdzieloną w stosunku do liczb:

$$58:19:56,$$

a zatem przez regulowanie odjemne winny być ustalone stosunki:

$$X' = \frac{56}{19} = 2,95,$$

$$Y' = \frac{58}{19} = 3,05.$$

Ponieważ $X' = 2,95 > X = 1,29$, oraz $Y' = 3,05 > Y = 1,7$, przeto punkt m ($X' Y'$) nie leży w kącie III, lecz może być w kątach I, II lub IV (podług § 12). Ponieważ $\frac{Y'}{X'} = \frac{3,05}{2,95} = 1,03 < \frac{Y}{X} = \frac{1,7 \cdot 6}{1,290} = 1,32$, przeto nie mamy dostatecznych powodów do tego, by sądzić, że punkt m ($X' Y'$) leży w kącie IV, bo jest bardzo prawdopodobnem, że leży w kącie I, a mianowicie w jego dolnej części pod krzywą C_3 . Odpowiednie sposoby regulowania odjemnego na zasadach ogólnych powinny być tymi sposobami, które odpowiadają regulacji dodatniej w kącie II. Podług tablicy § 12 lub podług rys. 53, 62, znajdujemy, iż jedynym możliwym sposobem regulacji odjemnej jest sposób ($-a$, $-b'$).

(Można też wykreślić asymptoty i hiperbole zasadnicze na oko, oraz przekonać się bezpośrednio, że punkt m leży w kącie I).

Dla określenia oporów odjemnych użyjemy wzoru I i II (z tabl. § 12):

$$\text{I. } \mu_a = \frac{b(Y' + 1)^2 + c}{(X')^2} - a = 12 \left(\frac{4,05}{2,95} \right)^2 + 721 \left(\frac{1}{2,95} \right)^2 - 481 = -376,$$

$$\text{II. } \mu_{b'} = \frac{a'(X' + 1)^2 + c}{(Y')^2} - b' = 51 \left(\frac{3,95}{3,05} \right)^2 + 721 \left(\frac{1}{3,05} \right)^2 - 337 = -164.$$

¹⁾ Co, licząc 75% straty w przepierzeniu, odpowiada 14 robotnikom.

Opór ogólny:

$$M_1 = \frac{a(X')^2 + a'(X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 98 \left(\frac{2,95}{7} \right)^2 + 51 \left(\frac{3,95}{7} \right)^2 = 35,6,$$

$$M_0 = M_1 + M_2 = 35,6 + 177 = 212,6 \rightarrow A = 0,825.$$

Skąd:

$$Q = \frac{0,825 \sqrt{40}}{0,38} = 13,75 \text{ m}^3/\text{sek.}, = 825 \text{ m}^3/\text{min.}, = 6,2 \text{ m}^3 \text{ na człowieka/1'}$$

$$q_a = \frac{13,75 \cdot 3,05}{7} = 6 \quad " \quad = 360 \quad " \quad = 6,2 \quad " \quad " \quad "$$

$$q_{b'} = \frac{13,75 \cdot 2,95}{7} = 5,8 \quad " \quad = 348 \quad " \quad = 6,2 \quad " \quad " \quad "$$

$$q_c = \quad = 1,95 \quad " \quad = 117 \quad " \quad = 6,2 \quad " \quad " \quad "$$

Depresje dodatkowe są:

$$h_{xa} = H \frac{a}{a+a'} \cdot \frac{M_1}{M_1+M_2} \cdot \frac{\mu_{xa}}{a-\mu_{xa}} = 40 \frac{481}{532} \cdot \frac{67}{244} \cdot \frac{383}{98} = 38 \text{ mm.}$$

$$h_{xb'} = H \frac{b'}{b+b'} \cdot \frac{M_1}{M_1+M_2} \cdot \frac{\mu_{xb'}}{b'-\mu_{xb'}} = 40 \frac{337}{349} \cdot \frac{67}{244} \cdot \frac{158}{179} = 9 \text{ mm.}$$

i praca wentylatorów wtórnych:

$$N_a = \frac{6 \cdot 38}{75} = 3 \text{ HP.}$$

$$N_{b'} = \frac{5,8 \cdot 9}{75} = 0,7 \text{ HP.}$$

$$N_a + N_{b'} = 3,7 \text{ HP.}$$

W ten sposób, kosztem nieznacznego wydatku energii (3,7 HP.) zostało osiągnięte:

1) Zwiększenie ogólnej ilości powietrza w porównaniu z przypadkiem regulowania dodatniego w stosunku $13,75:8,9 = 1,55$, t. j. o 55%.

2) Możliwość niezatrzymywania głównych robót wydobywczych w bocznicach b' , i prowadzenia odbudowy filarów w b' , oraz robót przygotowawczych (chodnikowych) w bocznicach a na szybiku XI jednocześnie bez wszelkiej przerwy.

3) Wreszcie, mniej znaczna zmiana w wielkości oporu ogólnego, a mianowicie, przy regulacji dodatniej zmiana zaszła w stosunku $506:244 = 2,07$, czyli opór zwiększył się o 107%, natomiast przy odjemnej regulacji — w stosunku $212:244 = 0,87$, t. j. nastąpiło zmniejszenie oporu o 13%. Stąd wpływ odjemnej regulacji na współczynnik pracy użytecznej wentylatora pierwotnego jest mniej ujemnym, aniżeli dla regulacji dodatniej.

§ 37. Znaczenie ekonomiczne regulowania mieszanego.

Przypuśćmy, że punkt m (X' , Y') leży w kącie I. Pozycji tej odpowiadają następujące sposoby regulowania:

- | | | |
|----------------|-------------|------------------|
| 1) dodatniego: | $(+b, +a')$ | (podług rys. 60) |
| 2) odjemnego: | $(-a, -b')$ | („ „ 62) |
| 3) mieszanego: | $(-a, +a')$ | („ „ 64) |
| 4) „ | $(+b, -b')$ | („ „ 64) |

Jeżeli dla wszystkich tych przypadków ułożymy wyrażenie oporu ogólnego podług I-go wzoru zasadniczego, oznaczając przez wskaźniki 0 i 1 odpowiednio opory bocznic wolnych i uregulowanych, oraz przyjmiemy pod uwagę, że opory dodatkowe we wszystkich czterech przypadkach określa się podług tych samych wzorów I—IV, a więc przy tych samych wartościach X', Y' mają wielkości jednakowe, wówczas otrzymamy:

$$M_1 = \frac{a_0 (X')^2 + a'_1 (X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2},$$

$$M_2 = \frac{a_1 (X')^2 + a'_0 (X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2},$$

$$M_3 = \frac{a_1 (X')^2 + a'_1 (X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2},$$

$$M_4 = \frac{a_0 (X')^2 + a'_0 (X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2}.$$

Jasnym jest, że:

$$a_0 > a_1,$$

$$a'_0 < a'_1.$$

więc:

$$M_1 > M_3,$$

$$M_1 > M_4,$$

$$M_2 < M_3,$$

$$M_2 < M_4.$$

Zatem:

$$M_1 > M_3 > M_2,$$

$$M_1 > M_4 > M_2,$$

oprócz tego:

$$M_1 > M_0 > M_2.$$

Stąd jasnym jest, że regulowanie mieszane daje najmniejsze odchylenie wielkości oporu ogólnego i dlatego wywiera najmniejszy wpływ na współczynnik pracy użytecznej wentylatora pierwotnego.

§ 38. Przykład liczbowy regulacji mieszanej. W ostatnim przykładzie dla zadanych stosunków $X' = 8$, $Y' = 1,57$ mieliśmy:

$$M_1' = 329 \text{ przy regulacji dodatniej,}$$

$$M_1'' = 8 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{odjemnej,}$$

oraz przy $X = 1,29$, $Y = 1,71$.

$$M_1 = 67 \text{ w systemie wolnym.}$$

Razem zaś z kolejno włączonymi szybami:

$$M_0' = 506 = 2,12 M_0 \text{ — przy dodatniej regulacji}$$

$$M_0'' = 185 = 0,75 M_0 \quad \text{„} \quad \text{odjemnej} \quad \text{„}$$

$$M_0 = 244 \text{ w systemie wolnym.}$$

Przytem ogólna ilość powietrza wynosiła:

$$Q_0' = 8,9 \text{ przy regulacji dodatniej,}$$

$$Q_0'' = 15 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{odjemnej,}$$

$$Q_0 = 12,8 \text{ w systemie wolnym.}$$

Dla zadanej pozycji punktu m (X' , Y') w kącie IV istnieją 2 sposoby regulowania mieszanej:

$$\left. \begin{array}{l} 1) +b, -a' \\ 2) -a, +b' \end{array} \right\} \text{ (podł. rys. 54).}$$

Opory dodatkowe określamy w 1-ym przypadku:

$$\text{podł. (III): } \mu_b = \frac{a(X')^2 - c}{(Y' + 1)^2} - b = 481 \left(\frac{8}{2,57} \right)^2 - 721 \left(\frac{1}{2,57} \right)^2 - 12 = +4530,$$

$$\text{„ (IV): } \mu_{a'} = \frac{b'(Y')^2 - c}{(X' + 1)^2} - a' = 337 \left(\frac{1,57}{9} \right)^2 - 721 \left(\frac{1}{9} \right)^2 - 51 = -50.$$

W drugim przypadku:

$$\text{podł. (I): } \mu_a = \frac{b(Y' + 1)^2 + c}{(X')^2} - a = 12 \left(\frac{2,57}{8} \right)^2 + 721 \left(\frac{1}{8} \right)^2 - 481 = -469,$$

$$\text{„ (II): } \mu_{b'} = \frac{a'(X' + 1)^2 + c}{(Y')^2} - b' = 51 \left(\frac{9}{1,57} \right)^2 + 721 \left(\frac{1}{1,57} \right)^2 - 337 = +143.$$

Opór ogólny:

w 1-ym przypadku:

$$\begin{aligned} M_{11} &= \frac{a(X')^2 + b'(Y')^2 + 2a'(X' + 1)^2 + 2b(Y' + 1)^2 + c}{3(X' + Y' + 1)^2} = \\ &= \frac{481 \left(\frac{8}{10,57} \right)^2 + 337 \left(\frac{1,57}{10,57} \right)^2 + \frac{2,1}{3} \left(\frac{9}{10,57} \right)^2 + \frac{2}{3} 4542 \left(\frac{2,57}{10,57} \right)^2 + \frac{721}{3 \left(\frac{1}{10,57} \right)^2}}{3} = 276, \end{aligned}$$

w 2-gim przypadku:

$$\begin{aligned} M_{12} &= \frac{12}{3} \left(\frac{8}{10,57} \right)^2 + \frac{480}{3} \left(\frac{1,57}{10,57} \right)^2 + \frac{2,51}{3} \left(\frac{9}{10,57} \right)^2 + \frac{2,12}{3} \left(\frac{2,57}{10,57} \right)^2 + \\ &+ \frac{721}{3 \left(\frac{1}{10,57} \right)^2} = 30, \end{aligned}$$

Razem z szybami

w 1-szym przypadku: $M'_{01} = 276 + 177 = 453 = 1,85 M_0$,

„ 2-gim „ $M'_{02} = 30 + 177 = 207 = 0,85 M_0$.

Ilość ogólna powietrza:

w 1-ym przypadku: $Q_I = \sqrt{1000 \cdot \frac{40}{453}} = 9,4$,

„ 2-gim „ $Q_{II} = \sqrt{1000 \cdot \frac{40}{207}} = 13,9$.

Depresja dodatkowa:

w 1-ym przypadku

$$h_{a'} = H \cdot \frac{a'}{a + a'} \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2} \cdot \frac{\mu a'}{a' - \mu a'} = 40 \cdot \frac{51}{532} \cdot \frac{67}{244} \cdot \frac{50}{1} = 57 \text{ mm};$$

w 2-gim przypadku:

$$h_a = H \cdot \frac{a}{a + a'} \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2} \cdot \frac{\mu a}{a - \mu a} = 40 \cdot \frac{481}{532} \cdot \frac{67}{244} \cdot \frac{469}{12} = 390 \text{ mm}.$$

Odpowiednie ilości powietrza:

$$q'a = \frac{Q(X' + 1)}{(X' + Y' + 1)} = 9,4 \frac{9}{10,57} = 8,$$

$$q_a = \frac{Q \cdot X'}{(X' + Y' + 1)} = 13,9 \frac{8}{10,57} = 9,9.$$

Praca wentylatora wtórnego:

w 1-ym przypadku: $N_{a'} = \frac{8 \cdot 57}{75} = 6 \text{ HP.},$

„ 2-gim „ $N_a = \frac{9,9 \cdot 390}{75} = 51 \text{ HP.}$

Jak widać, sposób 1-y (+ b, - a') ma charakter bardziej zbliżony do regulacji dodatniej i w porównaniu z ostatnią stawia wentylator pierwotny w nieco wygodniejszych warunkach pracy, ponadto ogólna ilość powietrza jest większą, niż przy regulacji dodatniej w stosunku $9,4:8,66 = 1,09$ t. j. o 6%.

Sposób drugi (- a, + b') zbliża się swym charakterem do regulowania odjemnego i w porównaniu z tym ostatnim zmienia opór ogólny względnie bardzo nieznacznie, oraz, wymagając mniej energii dodatkowej, jest bardziej wygodnym. Niemniej jednak rozchód energii jest dość znacznym, i dlatego z 4 sposobów otrzymywania stosunków $X' = 8$, $Y' = 1,57$ najbardziej odpowiednim jest sposób mieszany (+ b, - a').

Zalety sposobu mieszanego występują wyraźniej, gdy stosunki X' , Y' w porównaniu z istniejącymi nie różnią się zbyt wiele. Dla przykładu weźmiemy zadanie, rozwiązane wyżej przez regulację odjemną dla otrzymania stosunków $X' = 2,95$, $Y' = 3,05$ w tymże systemie.

Otrzymaliśmy przytem:

$$M_1 = 35,6$$

$$M_2 = 177$$

$$M_0 = 212,6 = 0,87 M,$$

$$Q = 13,75.$$

W regulacji dodatniej tenże system daje:

$$\text{podł. III: } \mu b = \frac{a(X')^2 - c}{(Y' + 1)^2} - b = 481 \left(\frac{2,95}{4,05} \right)^2 - 721 \left(\frac{1}{4,05} \right)^2 - 12 = 199,$$

$$\text{„ IV: } \mu a' = \frac{b'(Y')^2 - c}{(X' + 1)^2} - a' = 337 \left(\frac{3,05}{3,95} \right)^2 - 721 \left(\frac{1}{3,95} \right)^2 - 51 = 104,$$

$$M_1 = \frac{a(X')^2 + a'(X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 481 \left(\frac{2,95}{7} \right)^2 + 155 \left(\frac{3,95}{7} \right)^2 = 135,$$

$$M_0 = M_1 + M_2 = 135 + 177 = 312 = 1,28 M,$$

$$Q = \sqrt{1000 \frac{40}{312}} = 11,4.$$

Wychodząc z rys. hiperbol zasadniczych, oraz rys. 64, 65 wnosimy, że mieszana regulacja może być wykonaną trzema sposobami:

$$\left. \begin{array}{l} 1) - a, + a' \\ 2) + b, - b' \\ 3) + c, - a. \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{stosownie do dolnej} \\ \text{części kąta I.} \end{array}$$

Określamy opory dodatkowe:

w 1-ym przypadku

$$\text{podł. I.: } \mu a = \frac{b(Y' + 1)^2 + c}{(X')^2} - a = 12 \left(\frac{4,05}{2,95} \right)^2 + 721 \left(\frac{1}{2,95} \right)^2 - 481 = -376,$$

$$\text{„ IV.: } \mu a' = \frac{b'(Y')^2 - c}{(X' + 1)^2} - a = 337 \left(\frac{3,05}{3,95} \right)^2 - 721 \left(\frac{1}{3,95} \right)^2 - 51 = +104.$$

w 2-gim przypadku

$$\text{podł. III. } \mu b = \frac{a(X')^2 - c}{(Y' + 1)^2} - b = 481 \left(\frac{2,95}{4,05} \right)^2 - 721 \left(\frac{1}{4,05} \right)^2 - 12 = +199,$$

$$\text{„ II. } \mu b' = \frac{a'(X' + 1)^2 + c}{(Y')^2} - b' = 51 \left(\frac{3,95}{3,05} \right)^2 + 721 \left(\frac{1}{3,05} \right)^2 - 337 = -164.$$

w 3-cim przypadku

$$\text{podł. VI. } \mu c = b'(Y')^2 - a'(X' + 1)^2 - c = 337(3,05)^2 - 51(3,95)^2 - 721 = +1618,$$

$$\text{„ I. } \mu a = \frac{b(Y' + 1)^2 + (c + \mu c)}{(X')^2} = 12 \left(\frac{4,05}{2,85} \right)^2 + 2339 \left(\frac{1}{3,95} \right)^2 - 481 = -189.$$

Opór ogólny:

$$\text{w 1) } M_1 = \frac{a(X')^2 + a'(X' + 1)^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 105 \left(\frac{2,95}{7} \right)^2 + 155 \left(\frac{3,95}{7} \right)^2 = 68,$$

$$\text{„ 2) } M_2 = \quad \quad \quad = 481 \left(\frac{2,95}{7} \right)^2 + 51 \left(\frac{3,95}{7} \right)^2 = 102,$$

$$\text{„ 3) } M_3 = \quad \quad \quad = 292 \left(\frac{2,95}{7} \right)^2 + 51 \left(\frac{3,95}{7} \right)^2 = 68,1.$$

$$M_{01} = 68 + 177 = 245 = \approx 1 M_0,$$

$$M_{02} = 108 + 177 = 279 = 1,14 M_0,$$

$$M_{03} = 681 + 177 = 245,1 = 1,03 M_0.$$

Pierwszy i trzeci sposób daje opór ogólny niemal wcale nie różniący się od oporu systemu wolnego, a zatem o ile chodzi o współczynnik pracy użytecznej wentylatora pierwotnego, są najbardziej wygodnymi. Wydatek pracy wentylatora wtórnego w bocznicy a stanowi 3 HP. (rozwiązanie w § 36). Ilość powietrza:

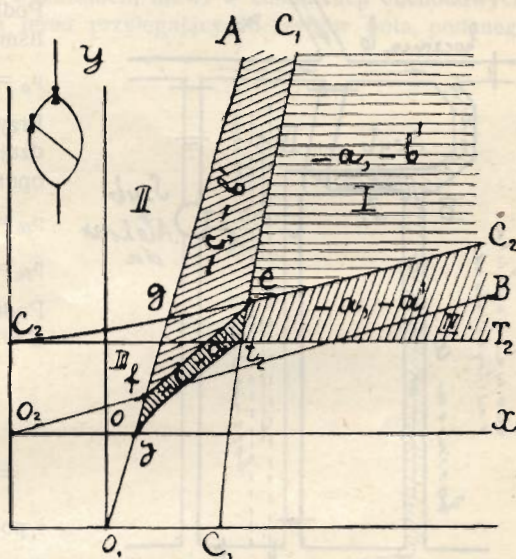
$$Q = \sqrt{1000 \frac{40}{245}} = 12,45.$$

§ 39. Zastosowanie inżektorów w systemach prostych przekątnych dla regulowania odjemnego. Z przykładów poprzednich §§ widzimy, że dodatkowy wydatek energii przy regulacji odjemnej w systemie przekątnym może stanowić dość znaczny odsetek energii wentylatora pierwotnego nawet wtedy, gdy w sposobach mieszanych osiągamy minimum rozbieżności w wielkości oporu ogólnego. Stąd szczególne zainteresowanie budzi zastosowanie inżektorów do regulowania, jako sposobu, dającego możliwość osiągnięcia znacznej depresji darmo. Przytem jednak należy pamiętać, że, stwarzając w pewnych elementach opory odjemne, inżektory wprowadzają w innych elementach opory dodatnie, co może mieć ten wpływ, że opór ogólny będzie ulegać mniej znacznym wahaniom. Stąd można wnosić, że przy inżektorach mieszane sposoby regulowania nie mają takiego znaczenia jak przy stosowaniu wentylatorów wtórnych, gdyż w istocie swej wszelkie regulowanie zapomocą jednego inżektora stanowi odmianę szczególną regulowania mieszanego.

Zapomocą inżektorów w systemie przekątnym jednakże nie można ustalać stosunków X' , Y' w granicach dowolnych, oraz obszar regulowania jest ograniczony tym warunkiem, że skutek sposobu swego działania inżektory mogą być zbudowane jedynie

w punktach węzłowych systemów, i to w tych, w których strumienie powietrza schodzą się do siebie. To znaczy tylko w punktach I i B (rys. 1); z 5-iu bocznic systemu przekątnego mogą być regulowane tylko 4: a , c , a' i b' , w połączeniach zaś parzystych tylko takie bocznic, które nie schodzą się w wspólnym punkcie, a więc: 1) a i a' , 2) a i b' , 3) a' i c , 4) b' i c . Natomiast bocznic a , c lub a' , b' jako schodzące się w jednym punkcie, nie mogą być regulowane zapomocą inżektorów. Wreszcie bocznic b nie ulega wcale regulowaniu w systemie przekątnym naturalnym.

Porównyując te wywody z rys. 62 i 63 wnosimy, że zapomocą inżektorów regulowanie bez udziału bocznic c może być wykonane tylko w kącie I sposobem $(-a, -b')$ oraz w kącie IV sposobem $(-a, -a')$ w obszarze ograniczonym styczną do wierzchołka hiperboli C_2 . Przy udziale bocznic c regulowanie inżektorem może objąć przy użyciu sposobu $(-c, -b')$ część kąta II, pomiędzy hiperbolą C_1



Rys. 66.

a jej asymptotą, i część kąta III w trójkącie fge (nad hiperbolą C_3) (rys. 54), jak również przy użyciu sposobu $(-c, -a')$ obejmie wąski pas kąta III fet_2j (rys. 55), poniżej hiperboli C_3 . Rys. 66 poglądowo wskazuje granice regulowania zapomocą inżektorów w systemie przekątnym naturalnym i służy dla szybkiego określenia właściwego sposobu regulowania w zależności od miejsca zajmowanego przez zadany punkt $m(X', Y')$. Żadnych innych punktów poza granicami obszarów na rysunku zacięniowanych nie można otrzymać zapomocą inżektorów w systemie prostym przekątnym naturalnym.

Przy określaniu depresji stwarzanej inżektorem w punkcie δ nie należy zapominać, że inżektor umieszczony w punkcie I stwa-

bowiem wypadku osiąga się zmniejszenie oporu ogólnego zaledwie o 10%, i odpowiednio zmniejszenie całej ilości powietrza o 5%. Nie zmieniając więc znacznie współczynnika pracy użytecznej wentylatora głównego, inżektory nie wymagają też żadnego wydatku energii dodatkowej.

Jeżeli porównamy powyższe rozwiązanie z rozwiązaniem tegoż zadania w § 38 sposobem mieszanym ($-a, +a'$) zapomocą wentylatora, wymagającego wydatku energii 3 HP, zrozumiemy, o ile inżektor może uchodzić za doskonały przyrząd regulacyjny.

Na rys. 67 przedstawiona jest dyspozycja inżektorów, oraz pewnych wyrobisk dopełniających z wskazaniem drzwi w chodnikach obchodowych.

Rys. ten przedstawia teren przylegający do szybów pola, podanego na rys. 32.

ROZDZIAŁ VIII.

ODJEMNE I MIESZANE REGULOWANIE W SYSTEMIE PRZEKĄTNYM OBRÓCONYM.

§ 41. Regulowanie odjemne systemu przekątnego obróconego. Nietrudno przeanalizować podług rys. 68 zmiany, zachodzące w pozycjach hiperbol zasadniczych systemu obróconego przy zmniejszaniu oporów odpowiednich elementów. Przy zmniejszaniu a hiperbola C_1 , zachowując swój wierzchołek w punkcie stałym, wyprostowuje się aż do złania się ze styczną C_1T_1 w chwili, gdy $a = 0$. Przy zmniejszaniu b , hiperbola C_1 zwęża się i, oddalając się od początku współrzędnych, zlewa się ze swoją osią przy $b = 0$. Tak samo hiperbola C_2 , wyprostowując się do złania się ze styczną C_2T_2 przy zmniejszaniu b' , i zwęża się, oddalając się od środka aż do złania się ze swoją osią przy $a' = 0$. Wreszcie, przy zmniejszaniu c obydwie hiperbole, zajmując pozycje podobne, zbliżają się do swoich asymptot i zlewają się z nimi, gdy $c = 0$.

Stąd wypływają sposoby regulowania odjemnego, oraz granice możliwych do ustalenia stosunków X' , Y' .

Bez udziału bocznicy c , jak i w systemie naturalnym regulowanie ogranicza się do pola kąta prostego, utworzonego przez styczne C_1T_1 i C_2T_2 (rys. 68), przyczem odbywa się ono:

- 1) w obszarze I, pomiędzy hiperbolami zasadniczymi — sposobem ($-a$, $-b'$).
- 2) w obszarze II, pod hiperbolą C_1 — sposobem ($-b$, $-b'$).
- 3) w obszarze IV, nad hiperbolą C_2 — sposobem ($-a$, $-a'$).

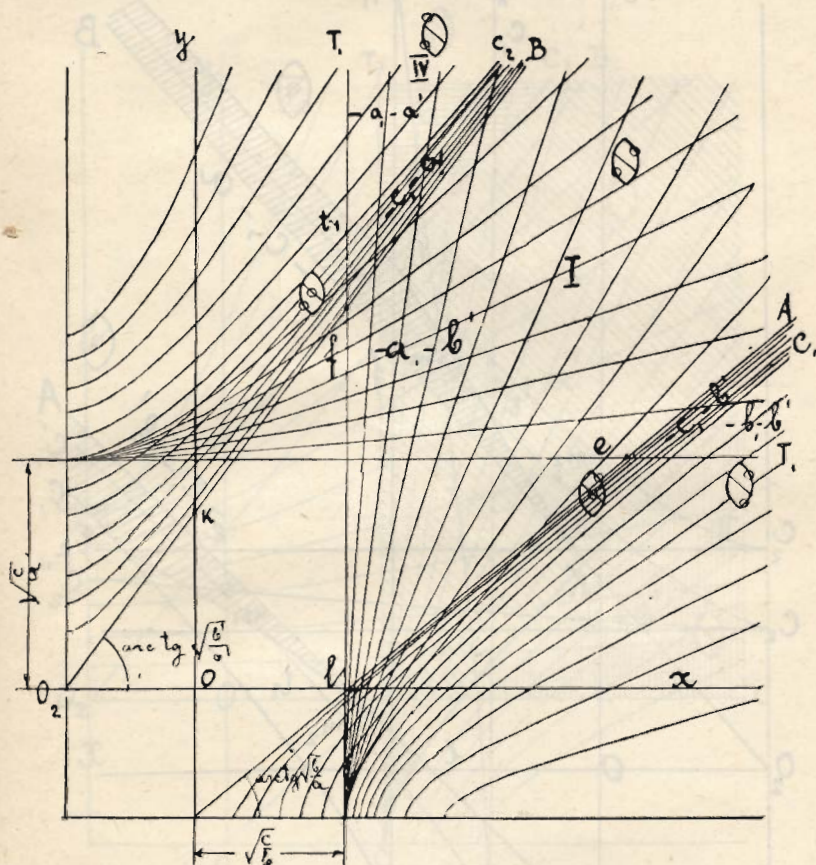
Sposoby te są wzajemnie przeciwne sposobom regulowania dodatniego (rys. 39).

Przy udziale bocznicy c (rys. 69) regulowanie ogranicza się do wąskich pasów w obszarze I, pomiędzy hiperbolami a ich asymptotami, przyczem sposoby regulowania są przeciwne sposobom regulacji dodatniej w obszarach przyległych do hiperbol II i IV (rys. 54), a mianowicie:

1) w pasie między C_1 a asymptotą O_1A — sposób $(-c, -b')$.

2) w pasie między C_2 a asymptotą O_2B — sposób $(-c, -a)$.

Części tych obszarów, leżące wewnątrz kąta, określonego przez styczne C_1T_1 i C_2T_2 , stanowią miejsca geometryczne punktów, które mogą być otrzymane przez sposoby wskazane. Poza

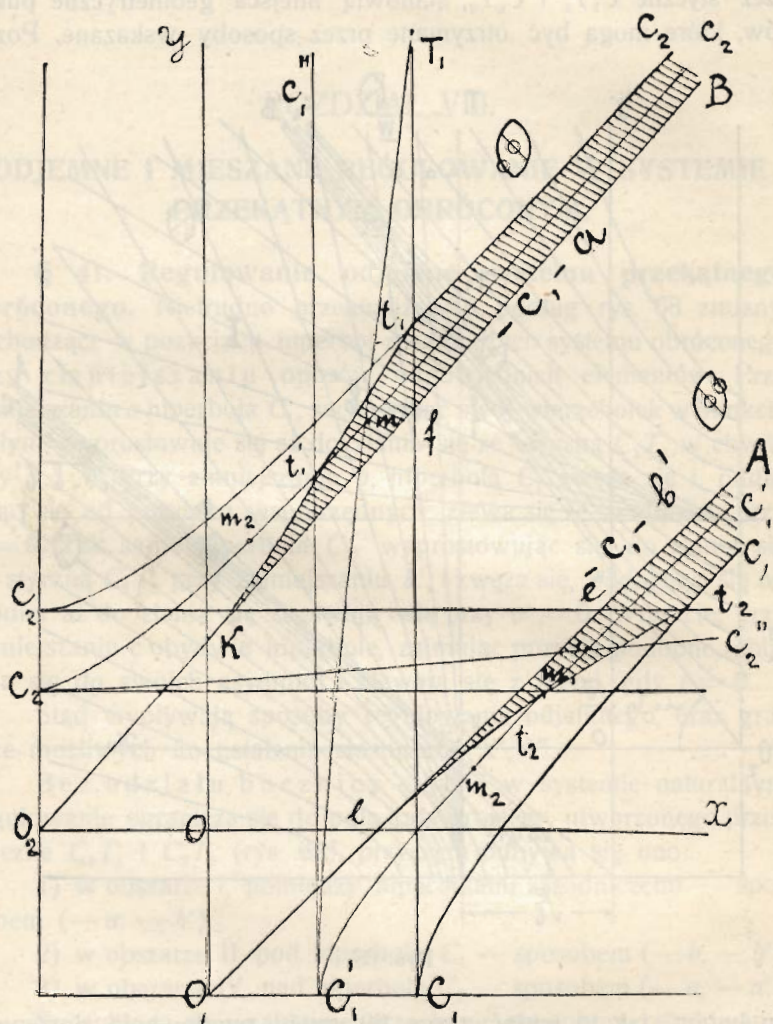


Rys. 68.

tym kątem, jak to widać z rys. 69, strefy regulowania dostępne temiż sposobami ograniczają się do trójkątów kft_1 i let_2 , których boki kt_1 i lt_2 stanowią miejsca geometryczne punktów przecięcia się jednej z hiperbol C'_1 lub C'_2 ze styczną we wierzchołku drugiej hiperboli.

Jasnym jest, że przy umieszczeniu hiperbol C_1 i C_2 w pozycje podobne C'_1 i C'_2 wskutek zmniejszania się c , tylko te punkty

hiperboli C'_2 można otrzymać przez zmniejszenie a , które leżą na prawo od punktu t'_1 , będącego przecięciem się jej ze styczną w wierzchołku C'_1 , naprz. m_1 , lecz nie m_2 . Tak samo na hiperboli C'_1



Rys. 69.

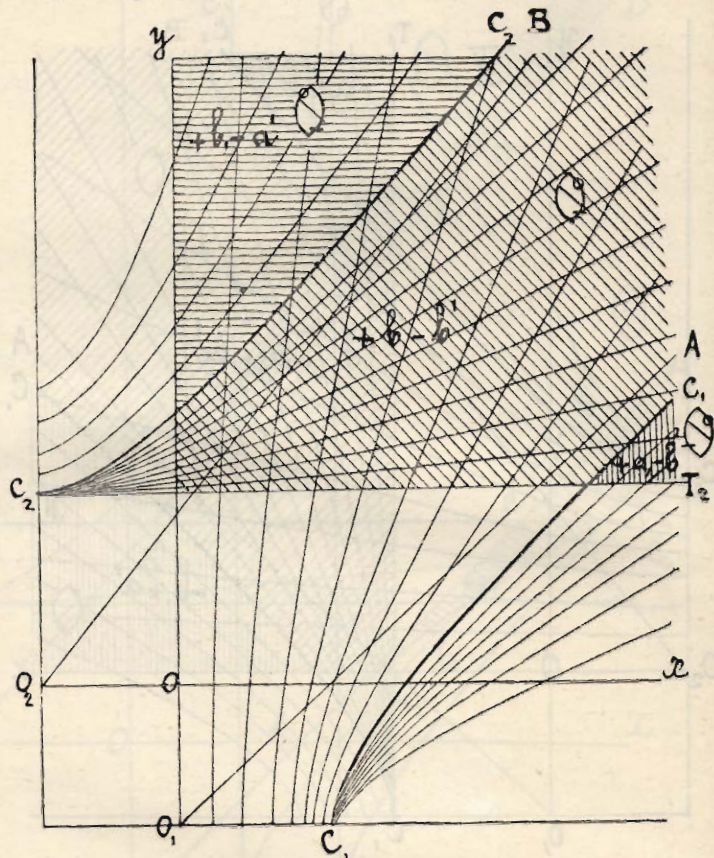
można otrzymać tylko punkty, leżące powyżej punktu t'_2 przecięcia się jej ze styczną do C'_2 , naprz. m'_1 , lecz nie m'_2 .

Punkty k i t_1 dla hiperboli C_2 , oraz l i t_2 dla C_1 są granicznymi punktami miejsca geometrycznego punktów t'_1 i t'_2 , oraz możliwy obszar dla regulowania oczywiście leży wewnątrz trójkątów kt_1f i let_2 .

Przy udziale bocznic c :

a) Jeżeli opór c ulega zmniejszeniu (rys. 72), wówczas obszar regulowania obejmuje całe pole między każdą hiperbolą a odpowiednią asymptotą, mianowicie:

między C_1 a O_1A stosuje się sposób $(-c, +a')$,
 „ C_2 a O_2B „ „ „ $(-c, +b)$.



Rys. 71.

b) Jeżeli opór c ulega zwiększeniu, wówczas obszar regulowania (rys. 73) ogranicza się przy każdej hiperboli do ostrego kąta, określonego jedną hiperbolą oraz miejscem geometrycznym punktów t przecięcia się tej hiperboli ze styczną we wierzchołku drugiej. Mianowicie:

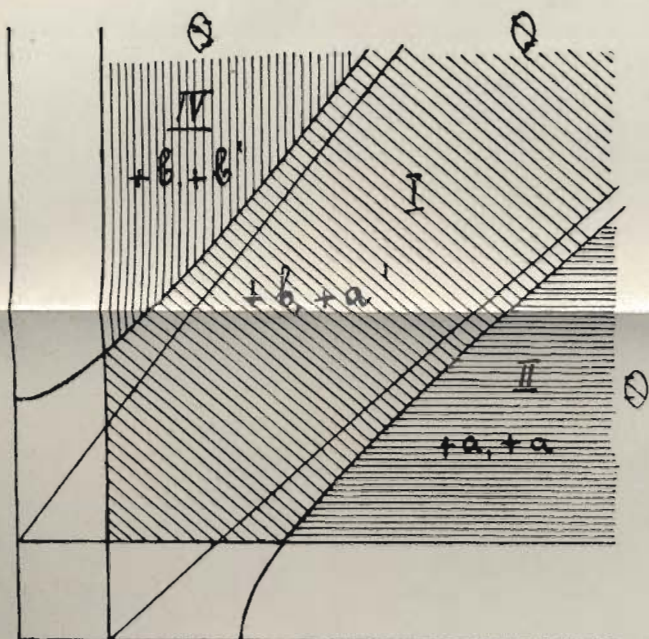
ostry kąt przy hiperboli C_1 uzyskuje się sposobem $(+c, -b')$,
 „ „ „ „ „ C_2 „ „ „ $(+c, -a)$.

Tablica synoptyczna wszystkich sposobów regulowania systemu przekątnego obróconego.

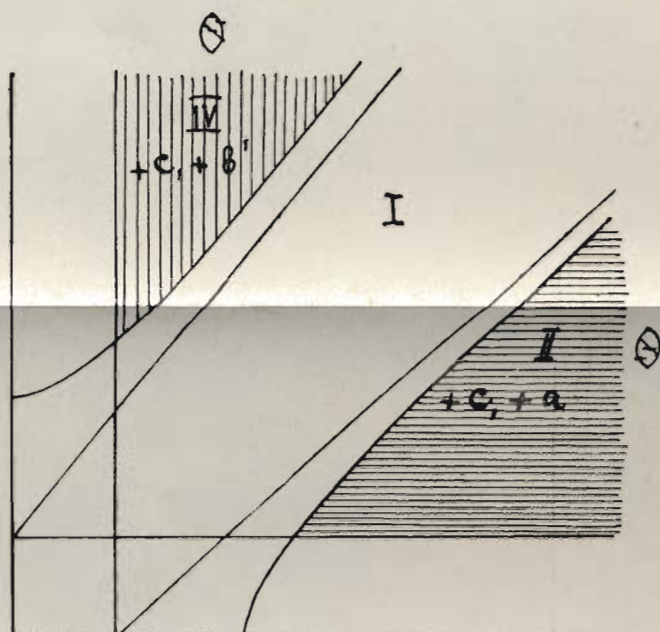
Bez udziału bocznicy c:

Przy udziale bocznicy c:

Regulowanie dodatnie

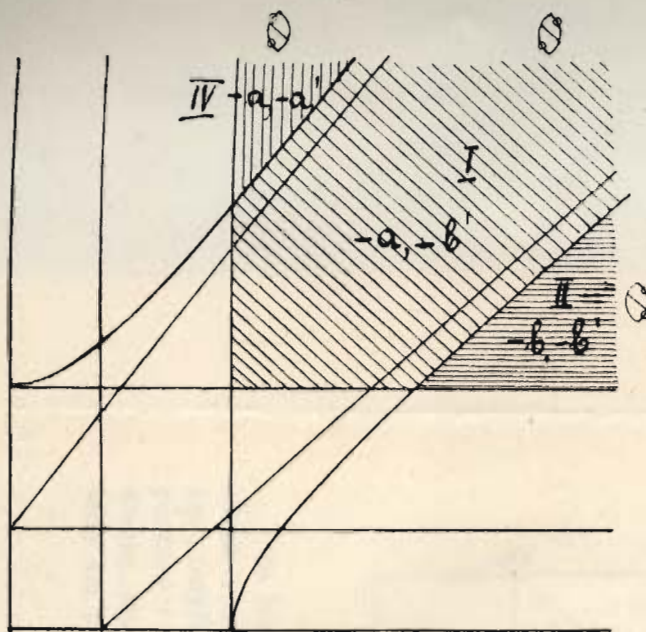


Rys. 74.

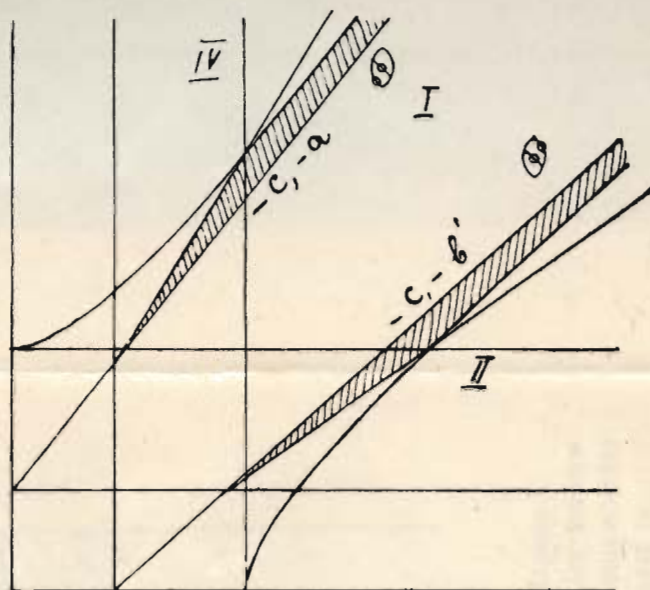


Rys. 75.

Regulowanie odjemne

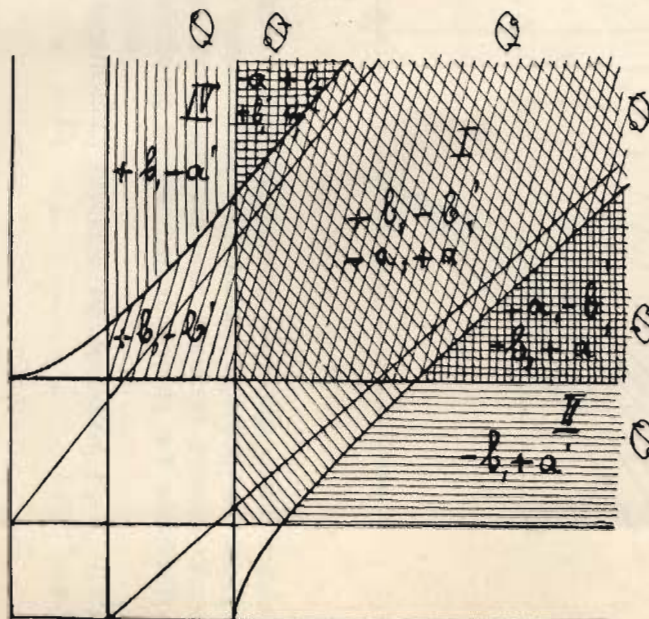


Rys. 76.

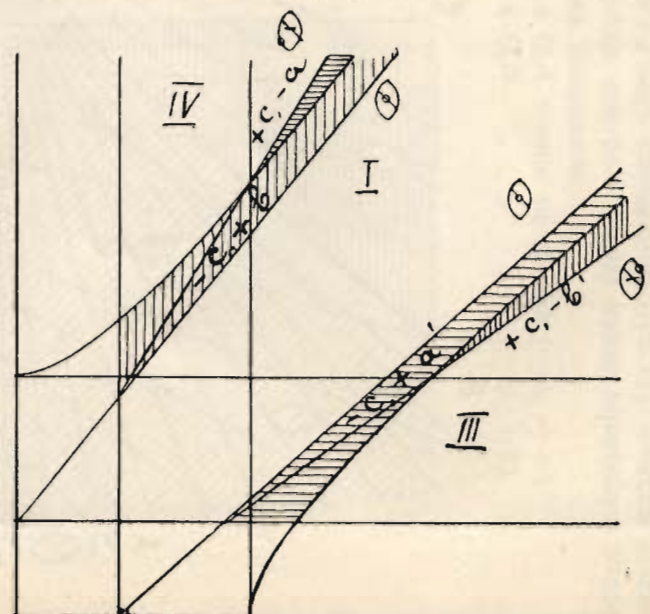


Rys. 77.

Regulowanie mieszane

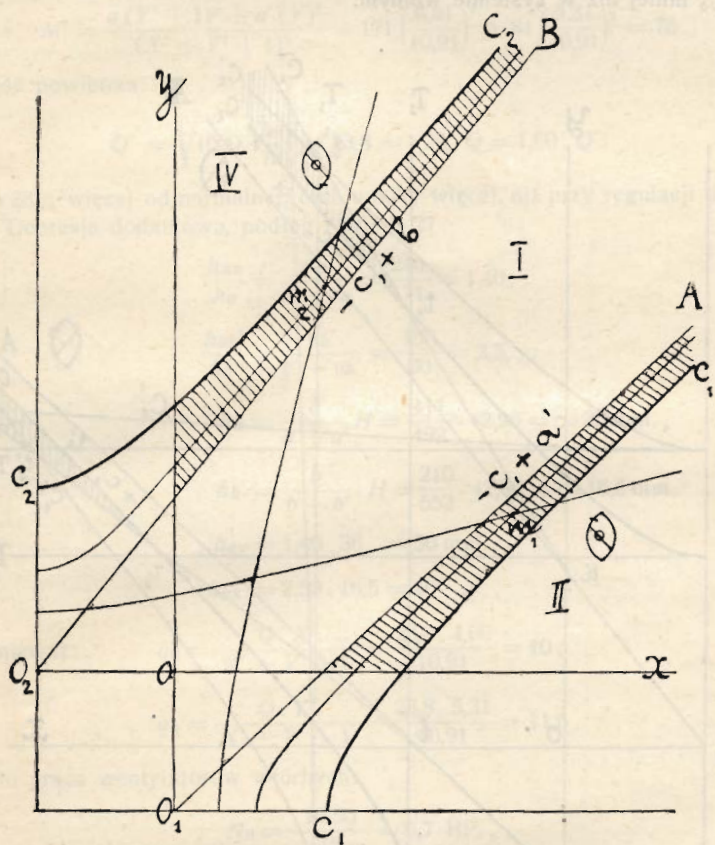


Rys. 78.



Rys. 79.

§ 43. Zestawienie wszystkich możliwych sposobów regulowania systemu obróconego. Do tego celu służą rys. 74—79 analogiczne rysunkom 60—65. Korzystając z tych rysunków, na zasadzie położenia punktu $m(X', Y')$ w stosunku do hiperbol zasadniczych określa się sposoby możliwe do zastosowania.



Rys. 72.

§ 44. Przykład liczbowy. W § 25 był przytoczony przykład obrócenia systemu zapomocą regulowania dodatniego przy następujących danych:

$$a = 411$$

$$M = 125$$

$$b = 342$$

$$X = 4,31$$

$$a' = 81$$

$$H = 42,96 \text{ mm.}$$

$$b' = 210$$

$$Y = 3,60$$

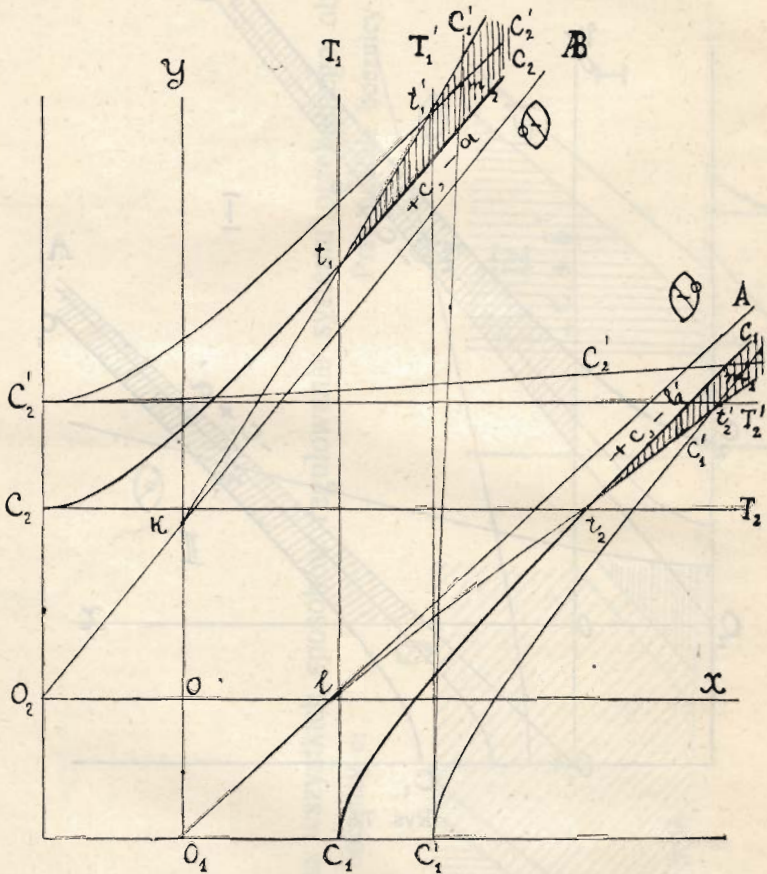
$$c = 422$$

$$Q = 18,56 \text{ m}^3.$$

Przy zachowaniu tychże stosunków X, Y w systemie obróconym były ustalone stosunki:

$$X' = Y + 1 = 4,60, \quad Y' = X + 1 = 5,31,$$

zapomocą tam regulacyjnych w bocznicach b i a' , przyczem opór ogólny systemu wynosił $M' = 195$, ilość powietrza zaś $Q' = 0,80$. $Q = 14,82$, t. j. o 20% mniej niż w systemie wolnym.



Rys. 73.

Jeżeli podobne obniżenie się ilości powietrza jest nie pożądanem, to obrócenie winno być dokonane drogą odjemnej regulacji. Ponieważ punkt zadany (X', Y') leży w obszarze I (między asymptotami hiperbol zasadniczych, rys. 42), przeto na zasadzie rys. 70 regulacja odjemna może być zastosowana jedynie w bocznicach a i b' . Opory odjemne określają się ze wzorów III' i IV' § 22.

$$\text{Podł. III': } \mu_a = \frac{b(X')^2 - c}{(Y' + 1)^2} - a = 342 \left(\frac{4,60}{6,31} \right)^2 - 422 \left(\frac{1}{6,31} \right)^2 - 411 = -240,$$

$$\text{„ IV': } \mu_{b'} = \frac{a'(Y')^2 - c}{(X' + 1)^2} - b' = 81 \left(\frac{5,31}{5,60} \right)^2 - 422 \left(\frac{1}{5,60} \right)^2 - 210 = -150.$$

Skąd opór ogólny podł. (136) § 23

$$M'' = \frac{a(Y' + 1)^2 + a'(Y')^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 171 \left(\frac{6,31}{10,91} \right)^2 + 81 \left(\frac{5,31}{10,91} \right)^2 = 76.$$

a ilość powietrza:

$$Q'' = \sqrt{1000 \frac{42,76}{76}} = 23,8 = 1,28 \cdot Q = 1,60 \cdot Q'.$$

t. j. o 28% więcej od normalnej, oraz o 60% więcej, niż przy regulacji dodatniej. Depresja dodatkowa, podług (166) § 27

$$\frac{h_{ax}}{h_a} = \frac{\mu_a}{a - \mu_a} = \frac{240}{171} = 1,40,$$

$$\frac{h_{bx'}}{h_{b'}} = \frac{\mu_{b'}}{b' - \mu_{b'}} = \frac{150}{60} = 2,5,$$

$$h_a = \frac{a}{a + a'} H = \frac{411}{492} \cdot 42,96 = \approx 36 \text{ mm.},$$

$$h_{b'} = \frac{b}{b + b'} \cdot H = \frac{210}{552} \cdot 42,96 = \approx 16,5 \text{ mm.}$$

Skąd:

$$h_{ax} = 1,40 \cdot 36 = 50 \text{ mm.},$$

$$h_{bx'} = 2,50 \cdot 16,5 = 40 \text{ „},$$

i ponieważ:

$$q_a = \frac{Q \cdot X'}{X' + Y' + 1} = \frac{23,8 \cdot 4,60}{10,91} = 10,$$

$$q_{b'} = \frac{Q \cdot Y'}{X' + Y' + 1} = \frac{23,8 \cdot 5,31}{10,91} = 11,6,$$

przeło praca wentylatorów wtórnych:

$$N_a = \frac{10,50}{75} = 6,7 \text{ HP.},$$

$$N_{b'} = \frac{11,6 \cdot 40}{75} = 6,2 \text{ „},$$

Razem

12,9 HP.

Przy pracy wentylatora pierwotnego:

$$N = \frac{23,8 \cdot 42,96}{75} = 13,6 \text{ HP.}$$

W ten sposób praca wentylatorów wtórnych wymaga dodatkowej energii w ilości niemal 100%, i przez to, być może regulacja odjemna staje się ekonomicznie niedogodną.

1) w obszarze II, poniżej hiperboli C_1 , a powyżej stycznej C_2T_2 i tu stosuje się sposób $(-b, -b')$, oraz:

2) w wąskim pasie obszaru I, ograniczonym hiperbolą C_1 , jej asymptotą O_1A i linią lt_2 , i tu stosuje się sposób $(-c, -b')$.

§ 46. Przykład liczbowy. Na zasadzie powyższego problem obrócenia w przykładzie ostatnim (§ 44) zapomocą inżektora jest niewykonalnym, punkt $m(X', Y')$ bowiem leży pomiędzy asymptotami (rys. 42). Lecz na podstawie rys. 78 można ten sam problem rozwiązać sposobem regulowania mieszanego $(+b, -b')$, budując inżektor w b' , oraz tamę regulacyjną w b . Określamy podług IV' § 22:

$$\mu'b = -150 \text{ (patrz § 44),}$$

i podług (I')

$$\mu b = \frac{a(Y'+1)^2 + c}{(X')^2} - b = 411 \left(\frac{6,31}{4,60} \right)^2 + 422 \left(\frac{1}{4,60} \right)^2 - 342 = +450.$$

Opór ogólny podług (136) § 23:

$$M' = \frac{a(Y'+1)^2 + a'(Y')^2}{(X' + Y' + 1)^2} = 411 \left(\frac{6,31}{10,91} \right)^2 + 81 \left(\frac{5,31}{10,91} \right)^2 = 157.$$

Jeżeli w b' ustawiono inżektor, wówczas przyjmując $\mu = 260$

$$\mu b' = \mu b' + \mu = 150 + 260 = 410,$$

$$\text{podług (186) § 30 } n = \sqrt{\mu b' \cdot \frac{S^2}{62,5} + 1} = \sqrt{410 \cdot \frac{1,125^2}{62,5} + 1} = 3,$$

$$\text{podług (195) § 30 } \mu' i = \frac{\mu b' \cdot n^{2,7}}{256} = \frac{410 \cdot 3,32,7}{256} = 40.$$

Opór ogólny systemu, włączając opór inżektora:

$$M_0 = M' + \mu' i = 157 + 40 = 197.$$

W ten sposób, w danym przykładzie, zastosowanie inżektora w porównaniu z regulowaniem dodatnim (§ 25), przy którym $M_0 = 195$, żadnej specjalnej korzyści nie przynosi.

Przypuśćmy, że mamy otrzymać stosunki $X' = 6$, $Y' = 3$. Punkt $m(X' Y')$ leży w obszarze II (rys. 42) stąd, podług rys. 80, można zastosować regulowanie odjemne zapomocą inżektora.

$$\begin{aligned} \text{Podług IV': § 22 } \mu b' &= \frac{a'(Y')^2 - c}{(X' + 1)^2} - b' = 81 \left(\frac{3}{7} \right)^2 - \\ &\quad - 422 \left(\frac{1}{7} \right)^2 - 411 = -404,5, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{" I': } \mu b &= \frac{a(Y'+1)^2 + c}{(X')^2} - b = 411 \left(\frac{4}{6} \right)^2 + \\ &\quad + 422 \left(\frac{1}{6} \right)^2 - 342 = -148. \end{aligned}$$

W wykonaniu praktycznem umieszczenie inżyniera w punkcie *B* posiada pewne niedogodności, (patrz plan rys. 33 a) przez ten punkt przechodzi bowiem główna droga przewozowa całego urobku od górnych blach upadowej I do szybu wydobywczego. Lecz jeśli oddzielimy dolną platformę pod upadową zapomocą podwójnej tamy z drzwiami, oraz skierujemy cały prąd powietrza chodnikiem schodowym, wówczas inżynier bardzo dogodnie można umieścić w ostatniej przecince (zgodnie z rys. 81). Naturalnie, opór bocznic *a'* w tym przypadku winien być obliczony z uwzględnieniem tej zmiany w kierowaniu powietrza. Ponieważ przez zbudowanie inżyniera chodnik prawy schodowy został przegrodzonym dla komunikacji, przeto z lewej strony upadowej powinien być przebit nowy chodnik schodowy (zob. rys. 81).

U w a g a. Na zakończenie autor pragnie wyrazić szczerze podziękowanie Panu Profesorowi A. Hoborskiemu, który podjął się trudu korekty i zweryfikowania matematycznej podstawy niniejszej pracy.

KONIEC.

THEORIE DES CIRCUITS DIAGONAUX.

RÉSUMÉ.

1. Dans tous les cas lorsque pendant l'exécution d'un projet de ventilation il est possible de prévoir le développement des travaux sous-terrains, il est utile de calculer à l'avance la résistance ou bien l'orifice équivalent de la mine. On sait en effet qu'un ventilateur ne travaille économiquement que dans des conditions bien déterminées; on sait aussi que son rendement baisse quand on dépasse dans un sens ou dans l'autre les limites données à l'orifice équivalent. En outre, étant donnée la nécessité d'assurer la sécurité des travaux, il faut obtenir la répartition de l'air sur les travaux dans les proportions désirées et calculées.

Le calcul ne donne pas la possibilité de déterminer les résistances et de résoudre les problèmes d'aérage rationnel dans tous les cas souvent très compliqués qu'on rencontre dans la pratique. Les plans des mines sont souvent bien chaotiques et il en résulte des systèmes d'aérage très compliqués et même embrouillés.

Rien qu'au point de vue pratique tels systèmes doivent être considérés comme dangereux, susceptibles de causer des accidents et de provoquer des difficultés pendant le sauvetage. L'élaboration d'un plan des travaux d'exploitation, basé sur la coordination systématique des chantiers, et ce qui s'en suit, sur la répartition rationnelle de l'air sur les artères d'aérage, doit être considérée comme une nécessité, même au point de vue purement pratique de la sécurité des travaux. Le système d'aérage ainsi compris conduit à un tel groupement des artères d'aérage qu'il devient possible, pour la plupart des cas, de calculer la valeur de l'orifice équivalent, ainsi que ses changements possibles. On peut donc adopter, grâce à cela, les moyens les plus parfaits de réglage de l'air et obtenir ainsi la marche de la ventilation d'une mine non seulement la plus rationnelle mais aussi la plus économique.

2. Grâce aux travaux de savants et d'ingénieurs tels que Murgue, Petit, Rateau, Guibal et plusieurs autres, la théorie de l'aérage se trouve actuellement dans un état très développée. Toutefois cette théorie ne donne la solution que dans le cas des systèmes dits normaux (parallèles), dans lesquels les ramifications sont soumises à la règle générale suivante: si en un point donné une artère se sépare en plusieurs artères secondaires, toutes ces artères se resoudent ensuite en un point commun, cette règle s'appliquant à des artères secondaires d'un degré quelconque.

Il n'est pas toujours possible en pratique de s'en tenir à cette règle et il est quelquefois nécessaire de former les systèmes des circuits dites „diagonaux“. Dans ces systèmes il existe des circuits qui, issus d'un point commun, ne se réunissent pas ensuite en un autre point commun. Ces circuits dits „diagonaux“ lient des points quelconques des artères normales (parallèles) de tous les degrés.

La présente étude a pour but de compléter la théorie générale quant aux systèmes diagonaux et traite des moyens d'en calculer la résistance et l'orifice équivalent, ainsi que des moyens de réglage de l'air dans ces systèmes. Le système diagonal le plus simple se compose de deux artères parallèles et d'une diagonale (fig. 1).

3. Pour calculer la résistance du système diagonal simple nous disposons des formules suivantes:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{a(X)^2 + a'(X+1)^2}{(X+Y+1)^2} \\ M_2 &= \frac{b(Y+1)^2 + b'(Y)^2}{(X+Y+1)^2} \\ M_3 &= \frac{a'(X+1)^2 + b(Y+1)^2 + c}{(X+Y+1)^2} \\ M_4 &= \frac{a(X)^2 + b'(Y)^2 - c}{(X+Y+1)^2} \end{aligned} \right\} \quad (8-11, \S 1)$$

$$M = \frac{aX^2 + b'Y^2 + 2a'(X+1)^2 + 2b(Y+1)^2 + c}{3(X+Y+1)^2} \quad \left. \right\} \quad (69, \S 7)$$

où a, b, a', b', c sont les résistances des cinq artères du système exprimées en murgues, $X = \frac{qa}{qc}$ et $Y = \frac{qb'}{qc}$ représentent les rapports des quantités d'air passant dans les artères a et b' à celle passant dans la diagonale c .

4. Les rapports X et Y représentent les racines des 2 hyperboles dites de base:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(X)^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} - \frac{(Y+1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} &= 1 \quad \dots \quad C_1, \\ \frac{(Y)^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} - \frac{(X+1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} &= 1 \quad \dots \quad C_2, \end{aligned} \right\} \quad (6, 7, \S 1)$$

obtenues par l'application de la loi qui dit que dans des polygones fermés Akl et Bkl (fig. 1) la somme algébrique des pertes des charge est égale à 0.

La condition nécessaire et suffisante pour l'existence des 2 racines réelles et positives des équations C_1 et C_2 est:

$$\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'}.$$

Dans ces conditions le courant dans la diagonale a la direction de k vers l . La solution des équations C_1 et C_2 peut être obtenue par la méthode analytique exacte (§ 2) ou bien avec approximation par la méthode de Protodjakonoff ou Doborzyński (§ 3).

La méthode graphique (§ 4, fig. 2, 3) est la plus commode — il suffit alors de construire les tronçons des courbes, situés entre les axes de coordonnées X et Y positifs. Etant donné qu'au point d'intersection les hyperboles ont leurs bras très voisins des lignes droites, il est suffisant de construire pour chacune des hyperboles 2 points seulement et de les réunir par une droite (§ 5, fig. 4, 5). Avec l'habitude il est possible d'évaluer le point d'intersection simplement à l'oeil (fig. 7 et 9) avec un erreur qui ne dépasse pas 10% et peut même ne pas dépasser 0,5%.

Le mode de calcul est tellement simple et rapide que, suivant la méthode des courants diagonaux, il est plus commode de calculer les systèmes normaux du type fig. 10 en admettant $a' = 0$ ou bien $b = 0$.

Nous obtenons alors pour la résistance:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{a(X)^2}{(X+Y+1)^2} \\ M_2 &= \frac{b'(Y)^2}{(X+Y+1)^2} \end{aligned} \right\} \quad (72, 73, \S 7)$$

et:

5. Les systèmes plus compliqués que le système diagonal ordinaire, même aussi simples que ceux représentés sur les fig. 11, 12 (§ 8) ne peuvent pas être résolus ni par la voie exacte analytique, ni par la méthode graphique. Pour résoudre ces systèmes on a recours à des méthodes approximatives dont la plus exacte est celle de Protodjakonoff; elle consiste en une décomposition de certains circuits et en remplacement du système diagonal compliqué par un système simple ou par le système normal (fig. 13—16, § 9). Dans des systèmes encore plus compliqués, la simplification peut être obtenue par l'annulation de certains circuits très courts ou bien très longues, où l'air ne circule presque pas, en se basant en tout cas sur la relation des résistances des voies adjacentes.

6. Le réglage de l'air dans les systèmes ramifiés peut avoir pour but la détermination des rapports $X', Y', Z', \dots$, fixés, l'obtention d'une résistance totale déterminée M' sans changement des rapports $X, Y, Z, \dots$, ou bien la détermination simultanée des valeurs déterminées des rapports X', Y', Z' , ainsi que de la résistance totale M' . De là nous distinguons les réglages: relatif, absolu et général. Les changements désirés peuvent être obtenus par le changement des résistances des circuits, qui peuvent se trouver diminuées ou augmentées. Il y a donc à distinguer le réglage positif et le réglage négatif. Le réglage positif est obtenu au moyen de portes d'aérage à guichet; le réglage négatif — par l'application d'un ventilateur secondaire ou d'un ajutage Petit (§ 11). On emploie le plus souvent les portes d'aérage. Si la porte d'aérage doit créer une résistance supplémentaire μ (en murgues), la section du guichet sera déterminée conformément à la formule de Petit:

$$\frac{S}{s} = 0,65 + 0,082 S \sqrt{\mu} \quad (81, \S 11)$$

ou bien au moyen du graphique fig. 27.

Dans le système diagonal simple, en cas de variation des résistances a et b :

$$\left. \begin{array}{l} X \text{ et } Y \text{ varient conformément à la courbe } C_2, \\ a' \text{ et } b' — \text{ " } \text{ " } \text{ " } \text{ " } \text{ " } C_1, \\ c — \text{ " } \text{ " } \text{ " } \text{ " } \text{ " } C_3, \end{array} \right\} (\S 12, \text{fig. 28, 29})$$

où C_3 est la troisième hyperbole de base.

L'équation de cette troisième hyperbole de base, qui passe par les points d'intersection des hyperboles C_1 et C_2 et de leurs asymptotes est:

$$(a + a')X^2 - (b + b')Y^2 + 2a'X - 2bY + (a' - b) = 0. \quad (83, \S 13, \text{fig. } 30)$$

7. Les modes de détermination dans le réglage positif des rapports X' et Y' dépendent de la position des points correspondant aux coordonnées X' et Y' par rapport aux hyperboles C_1 , C_2 , C_3 . A la position du point en question ($X'Y'$) par rapport à chacun des angles courbes, formés par les hyperboles C_1 et C_2 (dans le premier angle aussi des parties formées par l'hyperbole C_3), correspondent généralement plusieurs modes de réglage, représentés sur les schémas fig. 28 et 29.

La valeur de la résistance du système total réglé ne dépend pas de la méthode du réglage approprié à la position donnée du point (X' , Y'), et le choix du mode de réglage peut être adapté aux conditions locales.

Les modes de détermination de la résistance absolue du système diagonal sans changement des rapports X , Y , ne dépendent pas de l'allure des courbes (§ 14).

Les modes de réglages généraux qui tiennent compte de la résistance et des rapports, dépendent par contre de l'allure des courbes et de la situation du point ($X'Y'$) § 15. Les artères correspondantes pour le serrage sont groupées dans les tableaux (§ 15).

Les formules qui servent pour la détermination des résistances supplémentaires des portes d'aérage pour cas divers, s'obtiennent en partant des équations des hyperboles de base C_1 et C_2 , ainsi que des 4 équations de la résistance totale. Ces formules I—IV, IX—XVIII sont données dans les §§ 12, 14 et 15.

8. La propriété particulière des courants diagonaux est la possibilité de changer de sens en maintenant constante la direction du courant principal. D'un part ceci est commode car, par le réglage, on peut diriger le courant dans la diagonale dans le sens voulu; mais d'autre part ceci présente un certain danger car le renversement peut se produire subitement et inattendu par suite d'un changement des résistances dans les artères adjacentes.

En cas d'incendie, dans le système normal, la température qui se trouve être élevée en un certain endroit de la mine pour provoquer le renversement du sens dans une artère quelconque

a à vaincre toute la dépression existant entre les sorties des puits, et le renversement ne peut se produire qu'à la fois dans tout le système. Dans le système diagonal l'élévation de la température par suite d'un incendie n'a à vaincre que la différence des pressions existant entre les deux bouts d'une artère diagonale, différence qui n'est souvent qu'une petite fraction de la dépression totale; par suite le courant dans la diagonale peut être facilement renversé et cette instabilité des circuits diagonals présente un grand danger.

Donc, la connaissance des conditions du renversement d'un courant diagonal, la possibilité de produire ce renversement ad libitum, en même temps que de la détermination des rapports qui en résultent dans le système renversé, ont une importance pratique considérable (§ 17, 18).

Les hyperboles de base des systèmes à courant inversé sont les suivantes:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(X_1)^2}{\left(\frac{c}{b}\right)} - \frac{(Y_1+1)^2}{\left(\frac{c}{a}\right)} &= 1 \quad \dots \quad C_1, \\ \frac{(Y_1)^2}{\left(\frac{c}{a'}\right)} - \frac{(X_1+1)^2}{\left(\frac{c}{b'}\right)} &= 1 \quad \dots \quad C_2. \end{aligned} \right\} (123, 124, § 20)$$

Ces équations s'obtiennent des équations du système normal par le changement des lettres:

$$a \text{ et } b; \quad a' \text{ et } b',$$

et en admettant

$$X_1 = Y + 1,$$

$$Y_1 = X + 1.$$

Dans ces équations la condition:

$$\frac{a}{b} > \frac{a'}{b'}$$

est conservée de même.

Les hyperboles de base ne se rencontrent pas dans la partie supérieure à droite — fig. 38.

Pour cette raison, afin de faire circuler l'air dans le sens normal, il est nécessaire de régler le système de la manière, que les hyperboles puissent se rencontrer dans le quadrant supérieur droit. Le réglage des systèmes inversés peut être par conséquent relatif ou général, mais ne peut pas être absolu.

Le mode de réglage des systèmes renversés dépend de la situation du point ($X'Y'$) par rapport aux hyperboles de base, qui divisent la partie supérieure droite en 3 sections: I, II et IV; les modes de réglage sont indiqués sur les schémas fig. 39. Les formules correspondantes I'—VI' s'obtiennent des formules I—VI par le changement des lettres a et b , a' et b' , X_1 en $Y' + 1$ et Y_1 en $X' + 1$ (§ 22).

Les modes de réglage général sont indiqués sur les schémas fig 40. Les formules correspondantes IX'—XVIII' s'obtiennent identiquement des formules IX—XVIII (§ 24) ou bien peuvent être obtenues des formules de la résistance du système renversé qui sont les suivantes:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{b(X_1)^2 + b'(X_1 + 1)^2}{(X_1 + Y_1 + 1)^2} \\ M_2 &= \frac{a'(Y_1)^2 + a(Y_1 + 1)^2}{(X_1 + Y_1 + 1)^2} \\ M_3 &= \frac{b'(X_1 + 1)^2 + a(Y_1 + 1)^2 + c}{(X_1 + Y_1 + 1)^2} \\ M_4 &= \frac{b(X_1)^2 + a'(Y_1)^2 - c}{(X_1 + Y_1 + 1)^2} \end{aligned} \right\} (135, 136, 137, 138, § 23)$$

9. Pour le réglage négatif la dépression nécessaire pour la diminution de la résistance de μ_x murgues est:

$$h_2 = \frac{\mu_x}{M - \mu_x} \cdot h_1 \quad (166, § 27)$$

où h_1 — dépression du ventilateur principal, M — résistance originale.

Dans le système ramifié normal à résistance M_1 , branchée successivement avec M_2 pour augmenter la quantité d'air dans une artère dans la proportion:

$$\left(\frac{n'_m}{n_m} \right)$$

nous avons:
$$h_{xm} = \frac{H \cdot M_1}{M_1 + M_2} \cdot \left[\left(\frac{n'_m}{n_m} \right)^2 - 1 \right]. \quad (177, § 28)$$

Le mode de réglage négatif le plus économique est celui de l'ajutage Petit, qui marche à l'aide du courant d'air principal et, grâce à la dépression créée, provoque une circulation plus intense

dans les artères adjacents (fig. 47, 48), sans aucune consommation d'énergie. Les ajutages ne peuvent être installés que dans les points de jonction des artères.

Le rapport n des surfaces de la grande ouverture de l'ajutage et de sa gorge, est donné par la formule de Petit:

$$n = \sqrt{\mu_i \frac{2g}{b} \cdot \frac{S^2}{1000} + 1} \quad \text{ou} \quad (184, 186, \S 30)$$

$$n = \sqrt{\mu_i \frac{S^2}{62,5} + 1}$$

où S est la grande section de l'ajutage,

$\mu_i = \mu_x + \mu_t$ — depression produite par l'ajutage, si

μ_x — résistance définie d'après (166) ou (177),

μ_t — résistance du tuyau réunissant la galerie avec la gorge de l'ajutage.

L'ajutage crée dans le courant principal la résistance positive:

$$\mu'_i = \frac{\mu_i \cdot n^{2,7}}{256} \quad (195, \S 30)$$

laquelle doit être prise en considération pour le calcul de la résistance totale.

Les ajutages, par suite de l'action combinée de la depression μ_i et de la résistance positive μ'_i , ne provoquent que de faibles changements dans la résistance totale du système, par conséquent ils influent le moins possible sur le coefficient du travail utile du ventilateur principal; ils constituent donc le moyen le plus parfait pour le réglage relatif (§ 30).

L'application du réglage négatif aux systèmes diagonaux doit être faite de la même façon que pour le réglage positif. Toutefois une autre disposition des courbes donne évidemment d'autres résultats qui, en cas de réglage avec intervention de c , donnent un schéma assez compliqué des limites possibles d'application, comme on le voit sur les fig. 53, 54 et 55 (§ 30, 31).

Les réglages mixtes sont applicables, ainsi qu'on peut le voir sur les fig. 56—59 (§ 33). Enfin le tableau (§ 34) fig. 60—65 résume tous les modes de réglage dans le système diagonal simple naturel. Si l'on fait abstraction de la consommation supplémentaire d'énergie dans le réglage négatif, la comparaison des réglages: positif, négatif et mixte, indique que ce dernier donne les plus

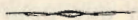
petites variations de la résistance totale et par conséquent influe le moins sur le rendement du ventilateur (§ 37).

L'application de l'ajutage présente toutefois le plus grand intérêt pour le réglage des systèmes diagonaux. Cette application doit être considérée comme un des modes de réglage mixte; n'exigeant pas d'énergie supplémentaire, elle doit être considérée comme un des moyens les plus économiques. Etant donné que les ajutages ne peuvent être montés que sur des points de jonctions des courants, leur application est assez restreinte; les limites entre lesquelles peuvent varier les rapports $X'Y'$ sont indiquées sur la fig. 66 (§ 39).

Pour l'application aux systèmes renversés les modes de réglage négatif et mixte découlent des analyses des fig. 68, 69, 70, 71, 72 et 73 (§§ 41, 42).

Le résumé synoptique de tous les modes possibles de réglage dans le système renversé est représenté sur le tableau fig. 74—79 (§ 43). Enfin la fig. 80 (§ 45) indique les limites du domaine d'application des ajutages au système renversé. La comparaison avec la fig. 66 indique que dans le système renversé leur application est encore plus restreinte.

De nombreux exemples numériques résultant de la pratique de l'auteur, se rapportent dans chaque chapitre à l'application de cette théorie à la solution des problèmes pratiques, et prouvent par le calcul les avantages et les inconvénients des différents systèmes et modes d'application; enfin ils confirment l'utilité pratique des conclusions théoriques.



SPIS RZECZY.

	Str.
Przedmowa	3
Rozdział I. System przekątny prosty.	
§ 1. Określenie oporu systemu przekątnego prostego	5
§ 2. Rozwiązanie analityczne równań C_1 C_2 dokładne	7
§ 3. Rozwiązanie analityczne równań C_1 C_2 przybliżone	12
§ 4. Rozwiązanie geometryczne równań C_1 C_2 dokładne	19
§ 5. Rozwiązanie geometryczne równań C_1 C_2 dostatecznie dokładne	22
§ 6. Rozwiązanie geometryczne równań C_1 C_2 przybliżone	24
§ 7. Opór ogólny	29
Rozdział II. Systemy przekątne złożone.	
§ 8. Rozwiązanie dokładne	31
§ 9. Rozwiązanie przybliżone systemów przekątnych złożonych metodą rozszczepiania prądów podług Protodjakonowa	34
§ 10. Uproszczenia systemów złożonych	46
Rozdział III. Dodatknie regulowanie powietrza w systemach przekątnych prostych.	
§ 11. Zasady ogólne	48
§ 12. Regulacja stosunkowa	50
§ 13. Trzecia hiperbola zasadnicza	54
§ 14. Regulacja absolutna	60
§ 15. Regulacja całkowita	61
§ 16. Przykład liczbowy	62
Rozdział IV. Systemy przekątne obrócone.	
§ 17. Zjawisko obrócenia się prądów przekątnych	71
§ 18. Określenia	80
§ 19. Warunki obrócenia systemu przekątnego	81
§ 20. Hiperbole zasadnicze systemów obróconych	82
§ 21. Wpływ zwiększenia oporów a , b , a' , b' , c na pozycję hiperbol zasadniczych w systemach obróconych	85
Rozdział V. Dodatknie regulowanie powietrza w systemach przekątnych prostych obróconych.	
§ 22. Regulacja stosunkowa	89
§ 23. Opór ogólny systemu obróconego	91
§ 24. Regulowanie całkowite	93
§ 25. Przykład liczbowy	96

Rozdział VI. Odjemne regulowanie zapomocą dodatkowej depresji.

§ 26. Zasada ogólna	101
§ 27. Regulowanie absolutne	103
§ 28. Regulowanie stosunkowe w systemach normalnych	106
§ 29. Porównanie ekonomiczne regulowania odjemnego i dodatniego	112
§ 30. Regulowanie systemów normalnych zapomocą inżektorów Petita	116

Rozdział VII. Regulowanie odjemne i mieszane w systemach prostych przekątnych naturalnych.

§ 31. Regulacja stosunkowa odjemna	126
§ 32. Hiperbole C_4 i C_5	132
§ 33. Sposoby mieszane regulowania	135
§ 34. Zestawienie wszystkich sposobów regulowania systemu przekątnego naturalnego	138
§ 35. Ogólny bieg rozwiązania problemów regulowania	139
§ 36. Przykład liczbowy	141
§ 37. Znaczenie ekonomiczne regulowania mieszanego	145
§ 38. Przykład liczbowy regulacji mieszanej	147
§ 39. Zastosowanie inżektorów w systemach prostych przekątnych dla regulowania odjemnego	150
§ 40. Przykład liczbowy	152

Rozdział VIII. Odjemne i mieszane regulowanie w systemie przekątnym obroconym.

§ 41. Regulowanie odjemne systemu przekątnego obroconego	154
§ 42. Regulowanie mieszane systemu przekątnego obroconego	157
§ 43. Zestawienie wszystkich możliwych sposobów regulowania systemu obroconego	159
§ 44. Przykład liczbowy	159
§ 45. Zastosowanie inżektorów do obrócenia systemów przekątnych	162
§ 46. Przykład liczbowy	163

