

JAN HOROSZKO

KINEMATYKA STRUMIENIA CZYŚCIWA WIRNIKA RZUTOWEGO  
TYPU WHEELABRATOR

**Streszczenie:** Podano ogólną charakterystykę wirników rzutowych oczyszczarek. Omówiono kinematykę strumienia czysciwa w wirniku typu Wheelabrator przy założeniu kształtu porcji w wirniku rozdzielczym; fazę swobodnego lotu od wirnika rozdzielczego do styku z łopatką roboczą, ruch po łopatkce i wylot oraz rozdział porcji na poszczególne łopatki. W przykładzie pokazano możliwości koncentracji strumienia i intensyfikacji działania wirnika.

Najważniejszym elementem mechanicznych oczyszczarek do odlewów jest wirnik rzutowy; zadaniem jego jest nadanie ziarnom czysciwa dużej prędkości i zebranie tych ziarn w skoncentrowany strumień, w którego zasięgu znajdują się czyszczone przedmioty.

Budowa wszystkich wirników rzutowych jest podobna: składają się one z koła łopatkowego, osadzonego na wale obracającym się z dużą prędkością kątową oraz układu zasilania, który doprowadza czysciwo do koła łopatkowego. Ziarna czysciwa chwyczone przez łopatki robocze przesuwają się po nich ku obwodowi pod działaniem sił - głównie odśrodkowych - i gdy znajdują się na zewnętrznym końcu łopatek, opuszczają koło łopatkowe z dużą prędkością; ta ostatnia jest wypadkową z prędkości promieniowej i obwodowej końców łopatek.

Istnieje kilka systemów wirników rzutowych; są one do siebie zbliżone, różnice polegają tylko na rozwiązaniu konstrukcyjnym. Systemy te są następujące: (tablica 1):

Tablica 1

System	Zasilanie koła łopatkowego			Ilość tarcz	Ilość łopatek	Max. wydajność kG/min
	rodzaj	sposób	kierunek			
Wheelabrator	porcjami	mechaniczny	promieniowy	2	8	350
Pangborn	porcjami	mechaniczny	promieniowy	1	8	900
Gutmann	ciągły	grawitacyjno-tłoczący	promieniowy	1	8	180
Sisson Lehmann	ciągły	grawitacyjno-tłoczący	promieniowy	2	8	180
Conblast	ciągły	grawitacyjno-ssący	równoległy do osi	1	2	60
Vogel Schemmann	ciągły	grawitacyjny	równoległy do osi	1	2	30

Z powyższych systemów wirników rzutowych wyróżniają się dwa pierwsze, tak pod względem wydajności jak i warunków kinematycznych, a te właśnie czynniki decydują o efektywności procesu czyszczenia. Mówiąc o warunkach kinematycznych mamy na myśli parametry strumienia czyszczywa opuszczającego wirnik w sensie ich niezmienności i możliwości regulacji, te kontrolowane warunki można stworzyć przez mechaniczne zasilanie koła łopatkowego elementem pośrednim - wirnikiem rozdzielczym, który niweluje w pewnym stopniu zmienne warunki zasilania.

Pozostałe cztery systemy wirników odróżniają się przede wszystkim tym, że zasilanie koła łopatkowego jest bezpośrednie, wykorzystuje działanie grawitacyjne ziarn czyszczywa, ewentualnie wzmacniając je w strumieniu tłoczonego lub zasysanego powietrza. Wszelkie zmiany warunków zasilania wpływają zatem bezpośrednio na parametry strumienia czyszczywa, przy czym możliwości regulacji są ograniczone.

W dalszym ciągu zajmować się będziemy wirnikiem systemu Wheelabrator (rys.1), powszechnie stosowanym w oczyszczarkach produkowanych w kraju.

Czysciwo pod działaniem ciężaru własnego i ssania wytwarzanego przez szybko obracający się wirnik wpada ciągłym strumieniem do wnętrza klatkowego wirnika rozdzielczego, którego łopatki odcinają porcje czysciwa. W czasie obrotu wirnika porcje kształtują się w ten sposób, że ich przekrój prostopadły do osi obrotu będzie figurą ograniczoną powierzchniami, z których jedna leży na łopatkce wirnika rozdzielczego, druga na wewnętrznej powierzchni tulei regulacyjnej, trzecia zaś jest powierzchnią swobodną.

Aby przeprowadzić analizę procesu w wirniku rzutowym trzeba założyć kształt figury utworzonej przez porcję czysciwa [1]. Niech to będzie półstożek kołowy prosty, przy czym dla uproszczenia przyjmiemy, że podstawa stożka, leżąca na wewnętrznej powierzchni tulei regulacyjnej jest płaska (rys.2), a przekrój osiowy jest trójkątem prostokątnym równoramiennym o boku  $p$ . Bok ten można wyliczyć z:

- $Q$  - wydajności wirnika w  $\text{kg}/\text{min}$   
 $n$  - ilości obrotów wirnika na  $\text{min}$ ,  
 $i$  - ilości łopatek

$$Q = \frac{1}{2} p^2 \pi \frac{p}{3} 10^{-3} \gamma 10^{-3} n i$$

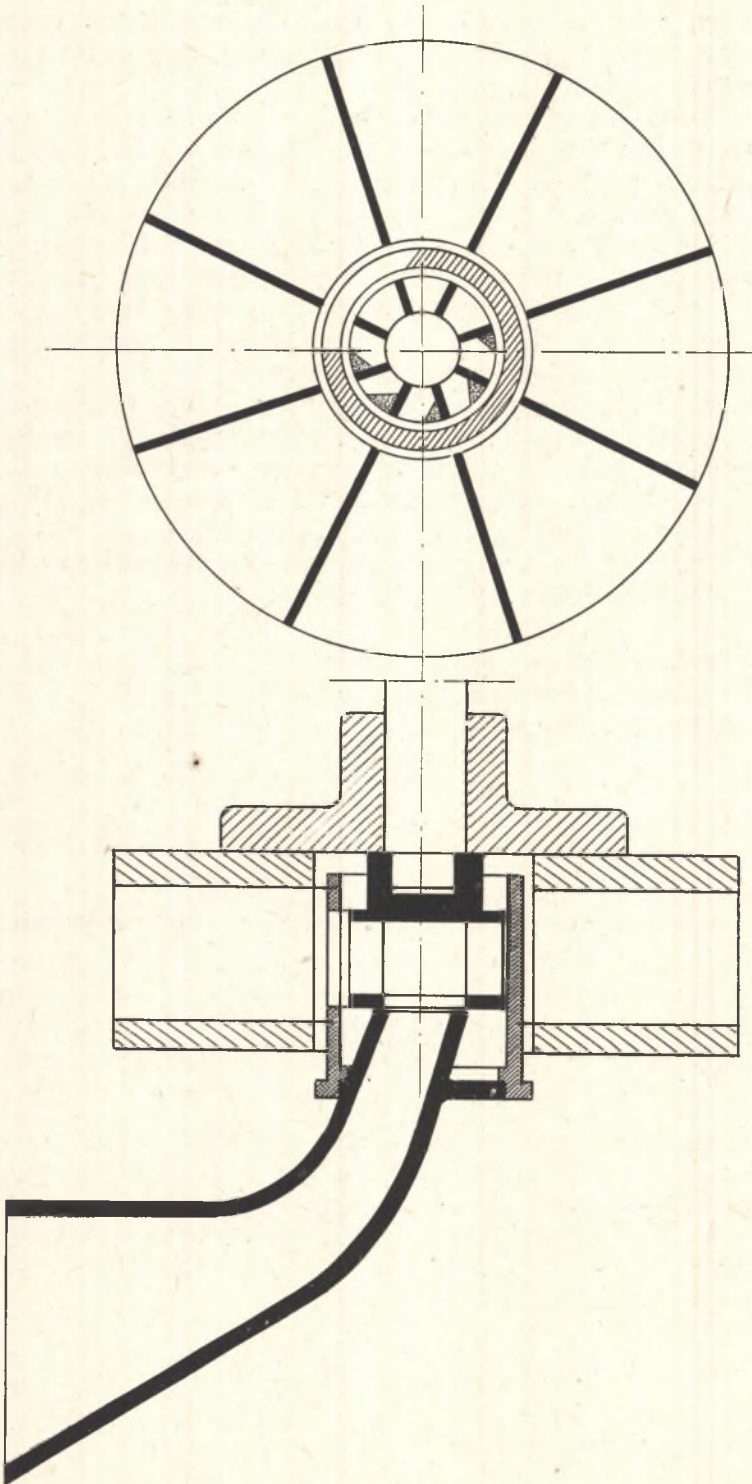
gdzie:  $\gamma$  - objętościowy ciężar właściwy czysciwa w  $\text{G}/\text{cm}^3$ , skąd wynika

$$p = 10^2 \sqrt[3]{\frac{6 Q}{\pi \gamma n i}} \cdot [\text{mm}] \quad (1)$$

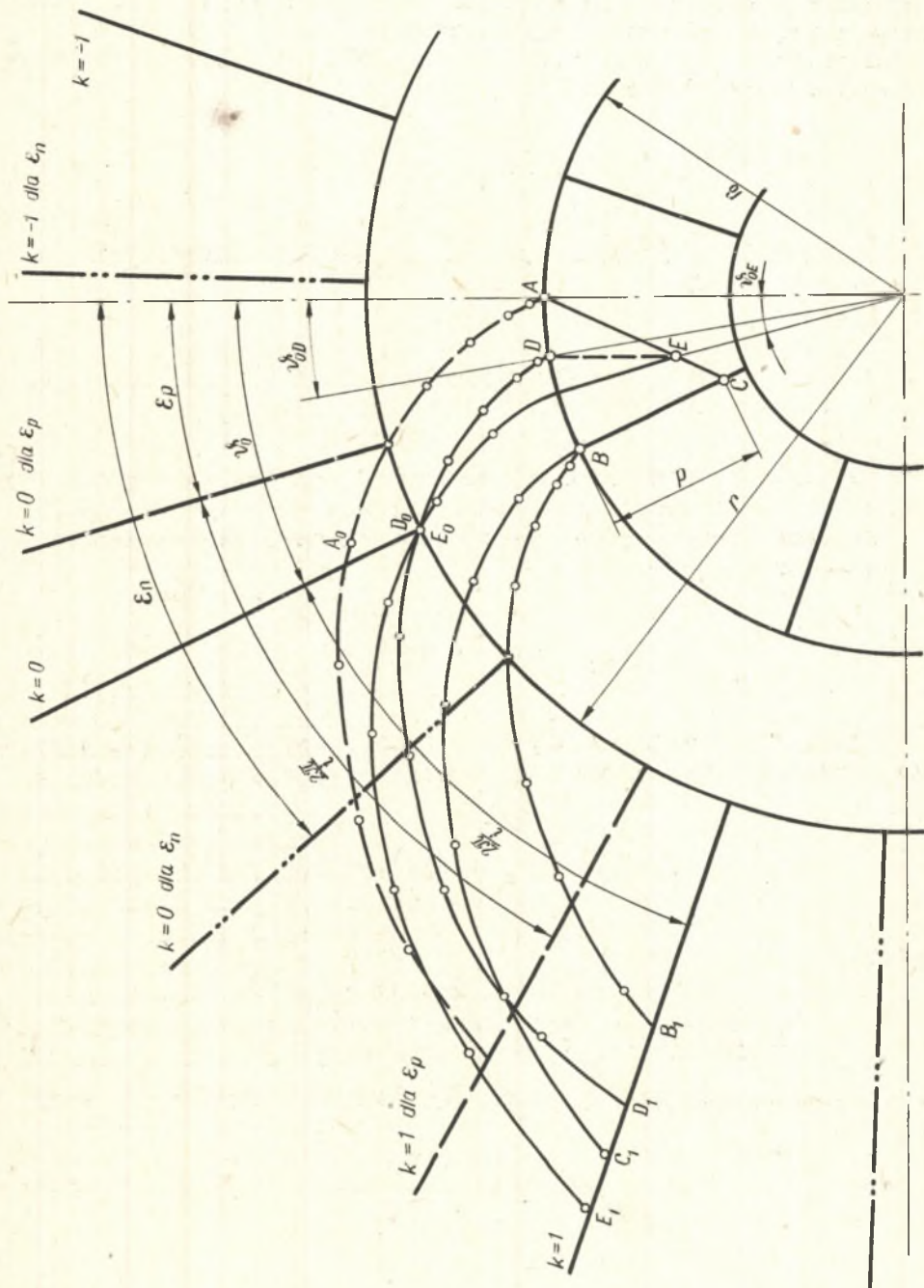
Porcja czysciwa przemieszcza się wewnątrz tulei regulacyjnej aż do okna, przez które cząstki porcji są wyrzucane przez łopatki wirnika rozdzielczego do przestrzeni z łopatkami roboczymi. Cząstki leżące na powierzchni przechodzącej przez punkty A - B poruszają się z prędkością obwodową wirnika rozdzielczego

$$v_o = u_o = \omega r_o \quad (2)$$

$\omega$  - prędkość kątowna  $1/\text{sek}$ .



Rys. 1



Rys. 2

Wszystkie cząstki leżące bliżej środka obrotu, opuszczając wirnik rozdzielczy poruszają się będą z prędkością wypadkową z prędkości obwodowej na promieniu  $r_0$  i prędkości promieniowej  $w$ ; dla cząstki w punkcie  $C_0$ , zaniedbując tarcie otrzymamy [2] str.238:

$$w_0 = \omega \sqrt{p(2r_0 - p)} \quad (3)$$

zaś wszystkie cząstki leżące na promieniach mniejszych od  $r_0$  uzyskują prędkość mniejszą  $w_{ox}$ :

$$w_{ox} = \omega \sqrt{p_x(2r_0 - p_x)} \quad (3a)$$

Wpływ tarcia możemy pominąć ze względu na to, że łopatki wirnika rozdzielczego są bardzo krótkie.

Prędkość bezwzględna wylotu cząstek czysciwa z wirnika rozdzielczego jest

$$v_{ox} = \sqrt{u_0^2 + w_{ox}^2} \quad (4)$$

Punkt styku cząstek czysciwa, wyrzucanego z klatki wirnika rozdzielczego, z łopatką roboczą znajdziemy z rys.3.

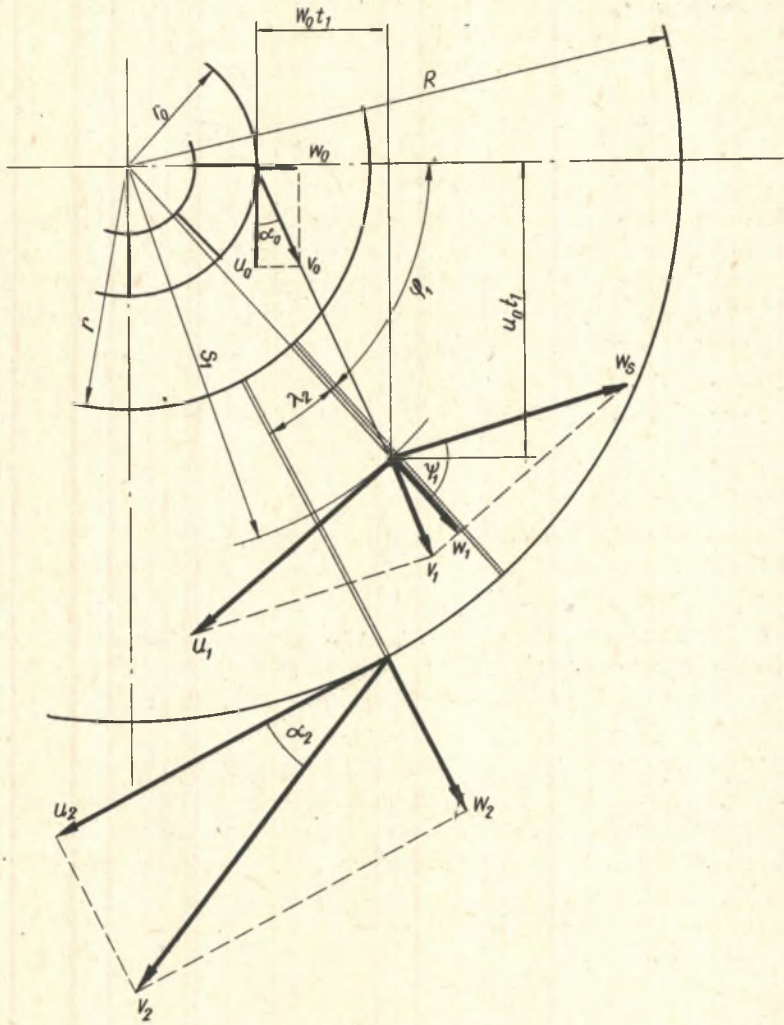
$$s_1 = \sqrt{(u_0 t_1)^2 + (r_0 + w_0 t_1)^2} \quad (5)$$

gdzie:

$t_1$  - czas swobodnego lotu cząstek czysciwa od momentu oderwania się od wirnika rozdzielczego do momentu zetknięcia się z łopatką roboczą.

Kąt obrotu promienia wodzącego cząstki czysciwa w czasie  $t_1$  jest

$$\varphi_1 = \text{arc tg} \frac{u_0 t_1}{w_0 t_1 + r_0} \quad (6)$$



Rys. 3

Kąt obrotu promienia wodzącego cząstki czysciwa względem koła łopatkowego jest

$$\beta = \varphi_1 - \omega t_1 = \text{arc tg} \frac{u_0 t_1}{w_0 t_1 + r_0} - \omega t_1 \quad (7)$$

W konstrukcji wirników rzutowych stosuje się zazwyczaj promieniowe usytuowanie łopatek roboczych oraz zgodne ich ustawienie z łopatkami wirnika rozdzielczego. Poszczególne cząstki czysciwa wyrzucane z klatki wirnika rozdzielczego są chwytywane przez odpowiadającą tej klatce łopatkę roboczą albo przez następną łopatkę lub wreszcie co jest także możliwe przy dużej różnicy  $r - r_0$  - przez dalsze łopatki wobec tego

$$\beta = -\frac{2\pi k}{i} - \psi^k \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (8)$$

$\psi^k$  - kąt środkowy opóźnienia pierwszej łopatkę roboczej względem rozpatrywanej cząstki porcji czysciwa. Z równań (7) i (8) znajdujemy  $t_1$  i po podstawieniu do (5) obliczamy  $s_1$ .

Styczna do trajektorii cząstki czysciwa względem koła łopatkowego (rys. 2 i 3) w punkcie styku z łopatką określa kierunek wektora prędkości względnej  $w_s$ , którą można znaleźć z równoległoboku prędkości  $w_s, u_1$  z wypadkową  $v_0$ . Z rysunku znajdujemy:

$$w_1 = v_0 \sin(\varphi_1 + \alpha_0) \quad (9)$$

$$\alpha_0 = \text{arc tg} \frac{w_0}{u_0} \quad (10)$$

$$w_s = \frac{u_1 - v_0 \cos(\varphi_1 + \alpha_0)}{\sin \psi_1} \quad (11)$$



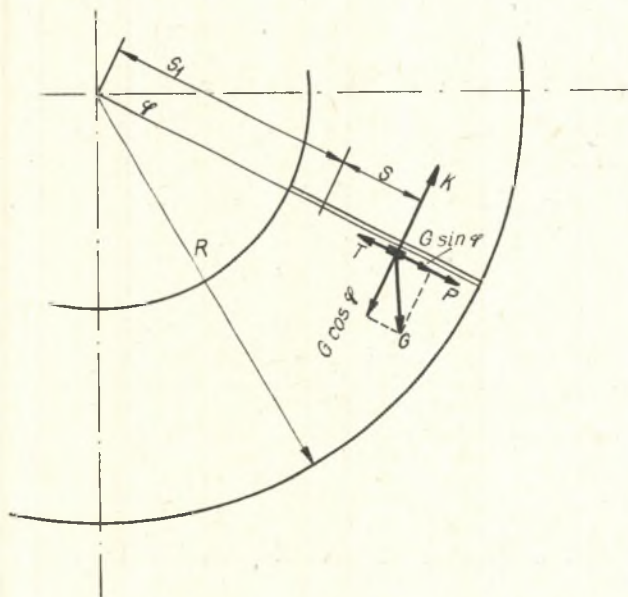
$$u_1 = \omega s_1 \quad (12)$$

$$\psi_1 = \text{arc tg} \frac{u_1 - v_0 \cos(\varphi_1 + \alpha_0)}{v_0 \sin(\varphi_1 + \alpha_0)} \quad (13)$$

Kąt  $\psi_1$  jest kątem ataku czysciwa na łopatkę; im on jest mniejszy, tym mniejsze jest zużycie łopatek w tym punkcie. Z tego powodu w wirniku Sisson Lehmann wewnętrzne końce łopatek są podgięte, aby zmniejszyć kąt  $\psi_1$ . Na rys.2 wykreślono drogi cząstek czysciwa z różnych punktów porcji względem łopatek roboczych; punktami oznaczono położenia ca 0,001 sek (p.przykład).

Na cząstkę czysciwa, poruszającą się po promieniowej łopacie, działają siły [3] (rys.4):

- |                          |                              |      |
|--------------------------|------------------------------|------|
| - odśrodkowa             | $P = m\omega^2 (s_1 + s)$    | (14) |
| - bezwładności Coriolisa | $K = 2m\omega \frac{ds}{dt}$ | (15) |
| - ciężkości              | $G = mg$                     | (16) |
| - tarcia                 | $T = (K - G \cos\varphi)f$   | (17) |



Rys.4

gdzie:

- $m$  - masa czysciwa,  
 $s_1$  - odległość od osi obrotu do początkowego punktu styku  
 czysciwa z łopatką,  
 $f$  - współczynnik tarcia.

Równanie ruchu cząstki po łopatkce jest

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = P + G \sin \varphi - T, \quad (18a)$$

a po podstawieniu (14), (15), (16), (17)

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + 2\omega f \frac{ds}{dt} - \omega^2 s = \omega^2 s_1 + g(\sin \varphi + f \cos \varphi) \quad (18b)$$

Siłę ciężkości można pominąć, gdyż stanowi ona zaledwie około 0,25 % siły odśrodkowej, względnie około 0,4% siły Coriolisa, przeto

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + 2\omega f \frac{ds}{dt} - \omega^2 s = \omega^2 s_1 \quad (18c)$$

Rozwiązanie tego równania przy założeniu warunków początkowych:

$$\text{dla } t = 0, \quad \text{jest } s = 0, \quad w = w_1$$

ma postać

$$s = \frac{(w_1 + \omega s_1 a) e^{b\omega t} - (w_1 - \omega s_1 b) e^{-a\omega t}}{\omega(a + b)} - s_1 \quad (19a)$$

$$w = \frac{(bw_1 + \omega s_1 a) e^{b\omega t} + (aw_1 - \omega s_1 b) e^{-a\omega t}}{a + b} \quad (19b)$$

gdzie:

$$a=f + \sqrt{f^2+1}$$

$$b=-f + \sqrt{f^2+1}$$

Znając wartości  $w_1$  oraz  $s_1$  można z (19a) wyznaczyć czas  $t_2$  przejścia cząstki czysciwa po łopatkce, tzn. po odcinku drogi o długości  $s = R - s_1$ ; wstawiając wartość  $t_2$  do (19b) znajdziemy prędkość względną  $w_2$  w chwili, gdy czysciwo opuszcza łopatkę. Układ równań (19) przedstawia zatem związek między  $s$  oraz  $w$  w formie parametrycznej.

Bezwzględną prędkość rzutu czysciwa obliczymy ze wzoru:

$$v_2 = \sqrt{u_2^2 + w_2^2} \quad (20)$$

przy czym

$$u_2 = \omega R, \quad (21)$$

Następnym zagadnieniem jest określenie kąta, o jaki obróci się wirnik w czasie liczonym od momentu wyrzucenia przez łopatki wirnika rozdzielczego cząstek czysciwa, aż do momentu wyrzucenia przez łopatki robocze ostatniej cząstki porcji, ukształtowanej w klatce wirnika rozdzielczego.

W dalszym ciągu przyjmujemy następujące oznaczenia:

indeks "0" dotyczy wirnika rozdzielczego;  
 indeks "1" punktu styku czysciwa z łopatką roboczą;  
 indeks "2" dotyczy wylotu czysciwa z wirnika rzutowego;  
 duże litery przy indeksie odnoszą się do odpowiednich cząstek czysciwa (p.rys.2).

Kąt obrotu wirnika liczymy od krawędzi okna tulei regulacyjnej. Dla cząstek położonych na powierzchni A-B kąt ten składa się z kąta obrotu promienia wodzącego  $\varphi_1$  od chwili opuszczenia wirnika rozdzielczego aż do momentu styku z łopatką roboczą i kąta  $\lambda_2$  podczas drogi tych cząstek po łopatkce roboczej, czyli (p.rys.3 i 6).

$$\theta_2 = \varphi_1 + \lambda_2 \quad (22)$$

Dla cząstek położonych wewnątrz, porcji czysciwa lub też na swobodnej powierzchni do powyższych dwóch kątów dochodzi trzeci  $\delta_0$ , podczas którego rozpatrywana cząstka sprowadzona do płaszczyzny promieniowej okna tulei regulacyjnej jako płaszczyzny odniesienia przemieści się na obwód wirnika rozdzielczego

$$\theta_2 = \delta_0 + \varphi_1 + \lambda_2 \quad (23)$$

przy czym

$$\delta_0 = \omega t_0 \quad (24)$$

gdzie ([2] str. 239)

$$t_0 = \frac{1}{\omega} \ln \frac{r_0 + \sqrt{p(2r_0 - p)}}{r_0 - p} \quad (25)$$

$$\lambda_2 = \omega t_2 \quad (26)$$

Z kolei postaramy się odpowiedzieć na pytanie jaka część porcji czysciwa trafi na łopatkę roboczą, odpowiadającą danej klatce wirnika rozdzielczego, w której znalazła się rozpatrywana przez nas porcja? Określenie położenia tych cząstek na powierzchni A-B jest łatwe, gdyż sprowadza się do rozwiązania układu równań:

$$r = \sqrt{(u_0 t_{1D})^2 + r_0^2} \quad (27a)$$

$$\text{arc tg} \frac{u_0 t_{1D}}{r_0} - \omega t_{1D} = -(\psi_0 - \psi_{0D}) \quad (27b)$$

z którego otrzymamy

$$\text{arc tg} \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} = (\psi_0 - \psi_{0D}) \quad (28)$$

Odpowiedni punkt D określimy przy pomocy wzoru

$$\psi_0 = \frac{180}{r_0} \quad (29)$$

Część porcji (ADE) chwycona jest przez najbliższą łopatkę ( $k = 0$  we wzorze 8), natomiast pozostała część (DEBC) przez następną ( $k = 1$ ). Znalazienie odpowiednich punktów wewnątrz porcji jest bardziej złożone, gdyż porcja ma zmienny przekrój w płaszczyznach równoległych do płaszczyzny obrotu. Znajdźmy punkt na swobodnej powierzchni w największym przekroju. Jest on określony odległością  $p_E$ , którą obliczymy rozwiązując układ 5-ciu równań:

$$r = \sqrt{(u_o t_{1E})^2 + (r_o + w_{oE} t_{1E})^2} \quad (30a)$$

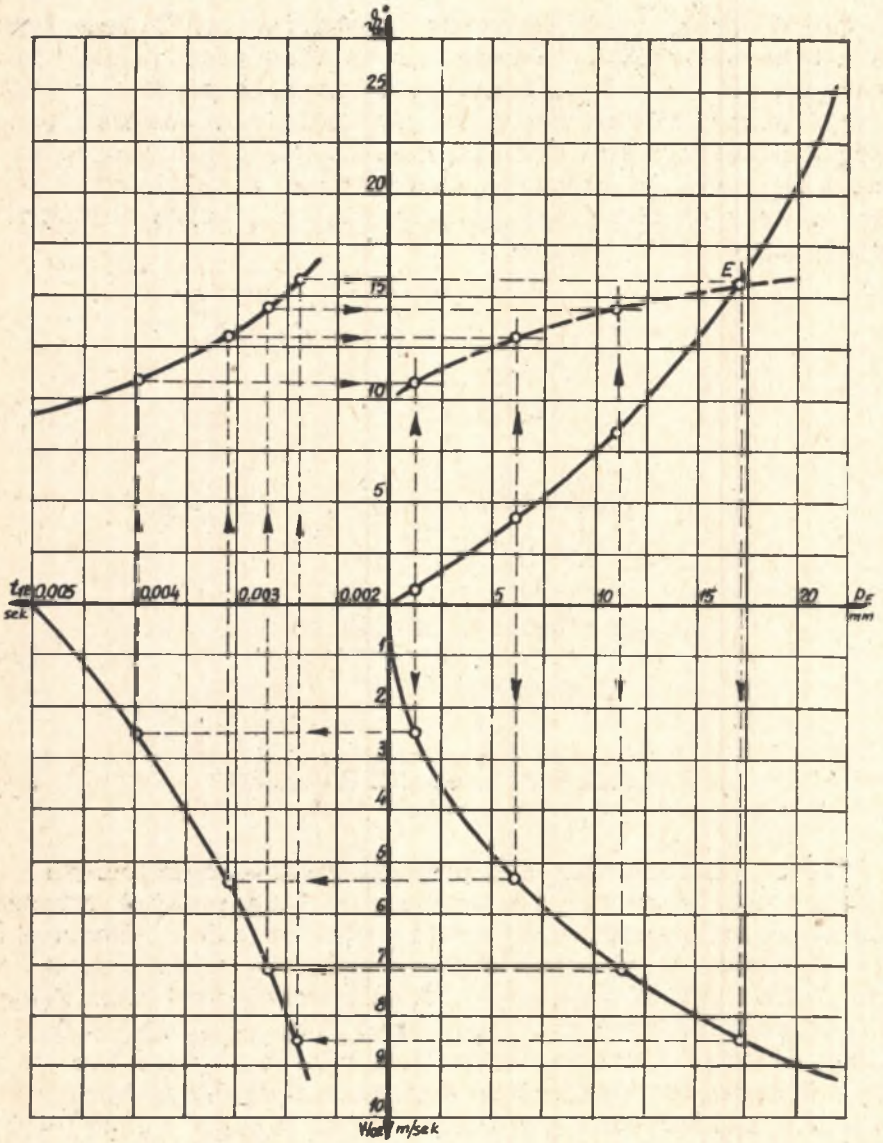
$$w_{oE} = \bar{\omega} \sqrt{p_E (2r_o - p_E)} \quad (30b)$$

$$\text{arc tg } \frac{u_o t_{1E}}{w_{oE} t_{1E} + r_o} - \omega t_{1E} = -(\gamma_o - \gamma_{oE}) \quad (30c)$$

$$\frac{r_o - p_E}{r_o} = \frac{\sin \gamma_p}{\sin(\gamma_{oE} + \gamma_p)} \quad (30d)$$

$$\frac{r_o - p}{r_o} = \frac{\sin \gamma_p}{\sin(\gamma_o + \gamma_p)} \quad (30e)$$

Układ ten rozwiązujemy sposobem grafo-analitycznym: z (30e) obliczymy  $\gamma_p$  i wstawiamy do (30d); układ czterech równań rozwiązujemy dalej graficznie (rys.5). Równanie (30d) przedstawiamy w postaci  $f(p_E - \gamma_{oE}) = 0$ . (linia ciągła) równanie (30b) jako  $f(p_E, w_{oE}) = 0$ , równanie (30a) jako  $f(w_{oE} - t_{1E}) = 0$  i wreszcie równanie (30c) jako  $f(t_{1E}, \gamma_{oE}, w_{oE}) = 0$ . Każdy punkt ostatniej krzywej odpowiada różnym prędkościom  $w_{ob}$ , choć krzywa jest wykreślona w układzie współrzędnych  $(t_{1E}, \gamma_{oE})$ . Transponujemy teraz krzywą  $f(t_{1E}, \gamma_{oE}, w_{oE}) = 0$  do układu współrzędnych  $(p_E, \gamma_{oE})$  i otrzymujemy krzywą kreskowaną. Sposób transpozycji pokazany jest na rysunku: pionowe odnoszące wykreślamy do przecięcia się z krzywą  $f(p_E, w_{oE}) = 0$ , od punktów przecięcia kreślimy poziome odnoszące do krzywej  $f(w_{oE}, t_{1E}) = 0$  i następnie pionowe odnoszące do krzywej  $f(t_{1E}, \gamma_{oE}, w_{oE}) = 0$ . Od punktów tej krzywej prowadzimy poziome odnoszące, które przecinając się z pionowymi wyznaczają krzywą kreskowaną. Punkt przecięcia obu krzywych - pełnej i kreskowanej - i odpowiadające mu punkty na pozosta-



Rys. 5

łych krzywych rozwiązują układ równań, w szczególności dają wartość  $v_{OE}$ .

Otrzymujemy więc dwa strumienie czysciwa: każdy ograniczony wektorami prędkości wykreślnymi ze skrajnych kątów obrotu  $\theta_2$ , przy czym dla normalnie przyjętych danych charakterystycznych oba strumienie częściowo na siebie zachodzą (rys.6). Kąty rozszczepienia tych strumieni częściowych i pełnego strumienia są

$$(\theta_2 - \alpha_2)_{\max} - (\theta_2 - \alpha_2)_{\min} \quad (31)$$

Wzór 31 jest formalny, a otrzymujemy z niego wzory szczegółowe przez wstawienie do obu nawiasów wartości dotyczących skrajnych wektorów.

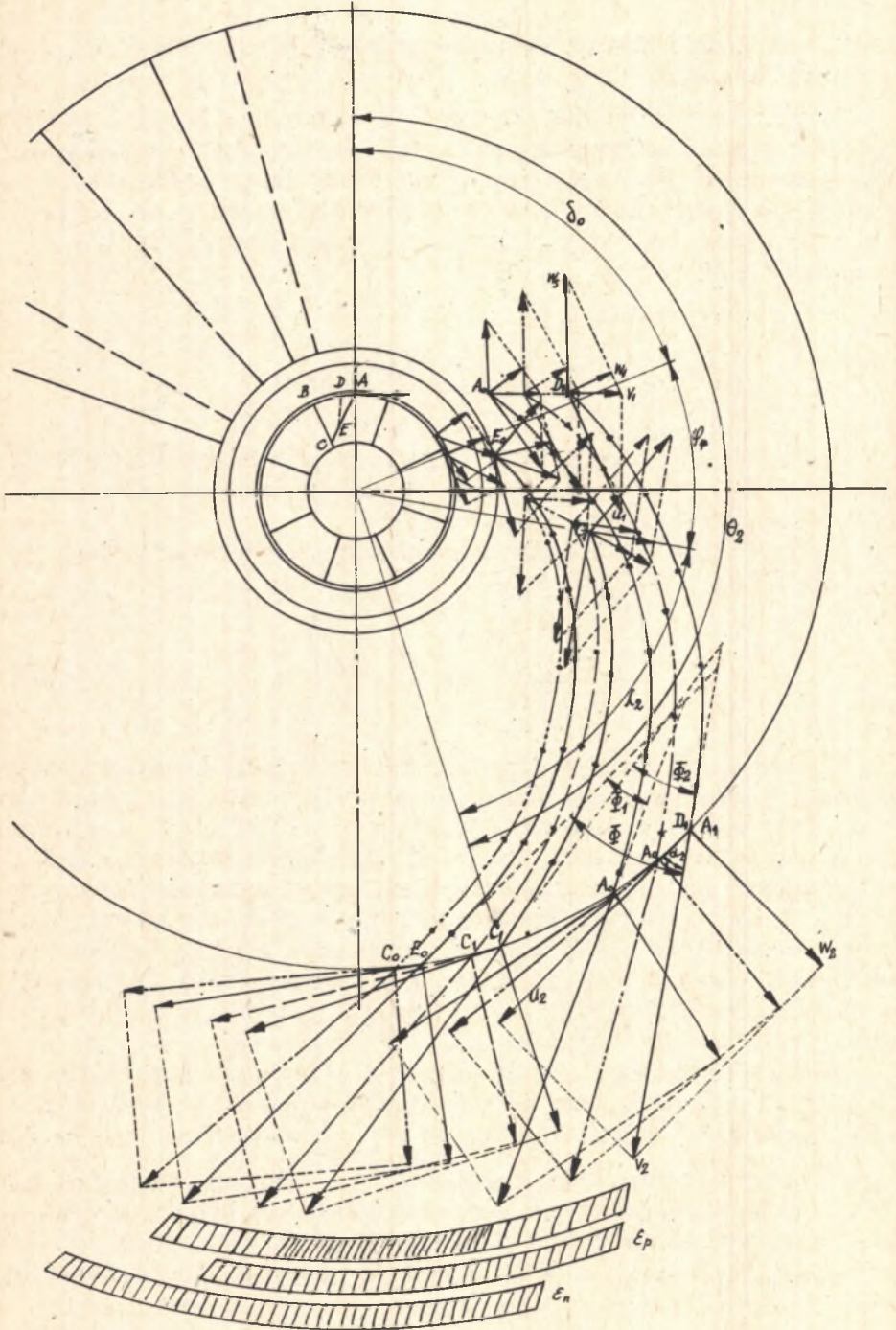
Kąty  $\alpha_2$  są zawarte między bezwzględną prędkością wylotu  $v_2$  i prędkością obwodową  $u_2$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{v_2}{u_2} \quad (32)$$

Przekraczając tuleję regulacyjną zmieniamy kierunek strumienia, jednak kąt rozszczepienia praktycznie nie ulega zmianie. Intensywność działania jest oczywiście różna w różnych strefach strumienia: najbardziej efektywne działanie jest w środkowej części strumienia i maleje w strefach zewnętrznych. Wynika to stąd, że w środkowej części strumienia mamy interferencję dwóch strumieni, a ponadto ilość ziarn czysciwa maleje w okolicach punktów A i C porcji ukształtowanej w wirniku rozdzielczym, a więc zasilających właśnie skrajne zewnętrzne strefy strumienia.

Jaki kąt powinny tworzyć łopatkki robocze z łopatkami wirnika rozdzielczego, aby nie następował rozdział porcji na dwie łopatkki? Zagadnienie to ma dwa rozwiązania: (p.rys.2):

- 1<sup>o</sup> wyprzedzenie koła łopatkowego o taki kąt względem wirnika rozdzielczego, aby wszystkie cząstki z klatki wirnika rozdzielczego przeszły pod odpowiadającą jej łopatką roboczą i były chwyczone przez następną łopatkę ( $k = 1$ ), lub



Rys. 6



2<sup>o</sup> opóźnienie koła łopatkowego o taki kąt, aby cała porcja z danej klatki znalazła się na odpowiadającej jej łopatkce roboczej ( $k = 0$ ).

Owe minimalne kąty wyprzedzenia lub opóźnienia zależą od wydajności wirnika, innymi słowy - od  $p$  przy  $n = \text{const.}$ ,  $i = \text{const.}$ , więc należy je określać przy  $Q_{\text{max}}$ .

Alternatywę pierwszą rozwiązuje układ równań podobny do (27):

$$r = \sqrt{(u_o t_{1A})^2 + r_o^2} \quad (33a)$$

$$\text{arc tg } \frac{u_o t_{1A}}{r_o} - \omega t_{1A} = -\varepsilon_p \quad (33b)$$

z którego otrzymamy, eliminując  $t_{1A}$

$$\text{arc tg } \sqrt{\left(\frac{r}{r_o}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{r}{r_o}\right)^2 - 1} = -\varepsilon_p \quad (33)$$

Równocześnie należy sprawdzić, czy cała porcja zmieści się na łopatkce  $k = 1$ :

$$s_{1B} = (u_o t_{1B})^2 + r_o^2 \quad (34a)$$

$$\text{arc tg } \omega t_{1B} - \omega t_{1B} = -\frac{2\pi}{i} - \varepsilon_p + \nu_o \quad (34b)$$

Jeżeli otrzymamy jako rozwiązanie tego układu  $s_{1B} \geq r$ , to całą porcję chwyta łopatkca  $k = 1$ , dla  $s_{1B} < r$  część porcji znalazłaby się na następnej łopatkce  $k = 2$ , czyli założenie nie byłoby spełnione i wtedy należy odpowiednio zmniejszyć  $r$ , o ile pozwolą na to wymiary konstrukcyjne tulei regulacyjnej.

Drugą alternatywę rozwiązuje się podobnie, przy czym rozpatruje się ruch cząstek z punktu B względem łopatkki:

$$r = \sqrt{(u_o t_{1B})^2 + r_o^2} \quad (35a)$$

$$\text{arc tg } \omega t_{1B} - \omega t_{1B} = -\varepsilon_n + v_0^0 \quad (35b)$$

$$\text{arc tg } \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} = -\varepsilon_n + v_0^0 \quad (35)$$

i równocześnie sprawdza się w przypadku gdy  $\frac{2\pi}{i} - \varepsilon_n < 0$ , czy cząstka z punktu A zdoła przejść pod łopatką  $k = -1$ . Jeżeli  $\frac{2\pi}{i} - \varepsilon_n \geq 0$ , sprawdzenie takie nie jest potrzebne. Sprawdzenia dokonuje się za pomocą układu równań

$$\text{arc tg } \omega t_{1A} - \omega t_{1A} = -\varepsilon_n + \frac{2\pi}{i} \quad (36a)$$

$$r' = \sqrt{(u_0 t_{1A})^2 + r_0^2} \quad (36b)$$

a pozytywnym wynikiem jest  $r' \leq r$ .

#### Przykład

Wydajność wirnika rzutowego	$Q = 240 \text{ kg/min}$
ilość obrotów wirnika	$n = 2150 \text{ obr/min}$
Ilość łopatek	$i = 8 \text{ sztuk}$
zewnątrzna średnica wirnika	$2R = 500 \text{ mm}$
wewnętrzna średnica końców łopatek	$2r = 150 \text{ mm}$
wewnętrzna średnica tulei regulacyjnej	$2r_0 = 100 \text{ mm}$
ciężar właściwy czyszciva	$\gamma = 2,5 \text{ G/cm}^3$
współczynnik tarcia czyszciva po łopatkach	$f = 0,3$

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi 2150}{30} = 225 \text{ sek}^{-1}$$

Rozpatrujemy przypadek, kiedy łopatki robocze są współpromieniowe z łopatkami wirnika rozdzielczego. Wyniki zebrane są w tablicy 2.

Tablica 2

Symbol		wg wzoru	punkt $\Lambda_0$	punkt $D_0$	punkt $E_0$	punkt $D_1$	punkt $E_1$	punkt $B_1$	punkt $C_1$
p	mm	1	0	0	17	0	17	0	22
$v^h$	$1^\circ$	29,28	0	9,2	15,5	9,2	15,5	25,2	25,2
$u_0$	m/sek	2	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25
w	m/sek	3	0	0	8,45	0	8,45	0	9,32
$v_0 = v_1$	m/sek	4	11,25	11,25	14,05	11,25	14,05	11,25	14,6
$\alpha_0$	$1^\circ$	10	0	0	37	0	37	0	39,7
t	sek	25	0	0	0,00433	0	0,00433	0	0,00525
$\delta_0$	$1^\circ$	24	0	0	56	0	56	0	67,7
k		8	0	0	0	1	1	1	1
$t_1$	sek	7	0,0062	0,005	0,0024	0,0098	0,007	0,0083	0,006
$s_1$	mm	5	85,5	75	75	121	134,5	106	125,5
$\varphi_1$	$1^\circ$	6	54,5	51,3	21	65,7	35,8	61,9	32,5
$\psi_1$	$1^\circ$	13	56,5	48,4	35,7	65,7	62,7	61,8	59,7
$w_s$	m/sek	11	15,3	13,2	14,65	24,8	29,3	21	27,6
$w_1$	m/sek	9	9,15	8,77	11,9	10,25	13,4	9,92	13,9
$u_1$	m/sek	12	19,3	16,9	16,9	27,3	30,2	23,8	28,25
$u_2$	m/sek	21	56,2	56,2	56,2	56,2	56,2	56,2	56,2
$w_2$	m/sek	19b	41,1	41,5	41,7	39,8	39,3	40,5	40,1
$v_2$	m/sek	20	69,5	69,9	70	68,9	68,6	69,3	69
$t_2$	sek	19a	0,0072	0,0078	0,0074	0,0054	0,0043	0,006	0,0048
$\lambda_2$	$1^\circ$	26	92,8	100,5	95,5	69,6	55,5	77,3	62
$\theta_2$	$1^\circ$	22,23	147,3	151,8	172,5	135,3	147,3	139,2	162,2
$\alpha_2$	$1^\circ$	32	36,3	36,4	36,6	35,3	34,9	35,8	35,5
$\Phi_{1,2}$	$1^\circ$	31	25,9			26,7			
$\Phi$	$1^\circ$	31	35,9						

Dokonajmy tych samych obliczeń dla przypadku, gdy łożatki robocze wyprzedzają łożatki wirnika rozdzielczego o kąt  $\varphi_0 = \min. \varepsilon_p$  (p.rys.2).

Wg (33)

$$\text{arc tg} \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 = 1 - \sqrt{\left( \frac{r}{r_0} \right)^2 - 1} = - \varepsilon_p$$

$$\text{arc tg} \sqrt{\left( \frac{75}{50} \right)^2 - 1} - \sqrt{\left( \frac{75}{50} \right)^2 - 1} = - 15,9^\circ$$

$$\varepsilon_p = 15,9^\circ$$

a z (34) otrzymamy  $s_{1B} = 96 > r$ , czyli łożatka  $k = 1$  atakuje całą porcję. Wyniki odniesione do narożnych punktów porcji, która nie ulega rozdzieleniu, ujęte są w tabelicy 3.

Tabelica 3

Symbol	wg wzoru	punkt $A_1$	punkt $B_1$	punkt $C_1$
k		8	1	1
$t_1$	sek	7,34b	0,0098	0,0073
$s_1$	mm	5,34a	121	96
$\varphi_1$	$1^\circ$	6	65,7	58,7
$\psi_1$	$1^\circ$	13	65,7	58,6
$w_s$	m/sek	11	24,8	18,45
$w_1$	m/sek	9	10,25	9,63
$u_1$	m/sek	12	27,3	21,6
$u_2$	m/sek	21	56,2	56,2
$w_2$	m/sek	19b	39,8	40,6
$v_2$	m/sek	20	68,9	69,3
$t_2$	sek	19a	0,0054	0,0066
$\lambda_2$	$1^\circ$	26	69,6	85,2
$\theta_2$	$1^\circ$	22,23	135,3	143,9
$\alpha_2$	$1^\circ$	32	35,5	35,9
$\phi$	$1^\circ$	31		29,5

Wreszcie rozpatrzmy przypadek, kiedy łopatki robocze opóźniają się względem wirnika rozdzielczego o kąt  $\min \varepsilon_n - \nu_0^h$ ;

wg (35)

$$\text{arc tg} \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} = -\varepsilon_n + \nu_0^h$$

$$\text{arct tg} \sqrt{\left(\frac{75}{50}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{75}{50}\right)^2 - 1} = -15,9 = -\varepsilon_n + \nu_0^h$$

stąd

$$\varepsilon_n = 41,1^\circ$$

Sprawdzenie wg (36) nie jest potrzebne, gdyż

$$\frac{2\pi}{i} - \varepsilon_n = 45 - 41,1 = 3,9^\circ > I.$$

Wartości obliczone w tych warunkach zestawiono w tablicy 4. W tablicach 3 i 4 opuszczono całą grupę wartości dotyczących wirnika rozdzielczego, gdyż nie ulegają one zmianie i są identyczne jak w tabl.2.

Przykład ten jest przedstawiony graficznie na rys.6 oraz 2. Na rys.2 pokazano trajektorie cząstek czysciwa z charakterystycznych punktów porcji względem nieruchomych łopatek roboczych dla ich trzech różnych położeń  $(\varepsilon_p, \nu_0^h, \varepsilon_n)$  w czasie swobodnego lotu od wirnika rozdzielczego do styku z łopatką roboczą. Rys.6 pokazuje trajektorie cząstek czysciwa z charakterystycznych punktów porcji, poruszających się po łopatce od styku z nią aż do wylotu. Linie pełne dotyczą współpromieniowego ustawienia łopatek roboczych i łopatek wirnika rozdzielczego, przerywane - przedstawiają skrajne trajektorie ograniczające strumień - przy wyprzedzeniu łopatek roboczych o kąt  $\nu_0^h - \varepsilon_p$  łopatek wirnika rozdzielczego (trajektoria punktu  $A_1$  pokrywa się z trajektorią punktu  $D_1$  - np. tabl.2; punkt  $D_1$  i tabl.3 punkt  $A_1$ , wreszcie linie kreskadwie kropki dotyczą skrajnych trajektorii strumienia przy opóźnieniu wirnika o kąt  $\varepsilon_n - \nu_0^h$ . Punkty oznaczają kolejne położenia cząstek czysciwa co 0,001 sek. W dolnej części pokazano rozszczepienie strumienia.

Tablica 4

Symbol		wg wzoru	punkt A <sub>0</sub>	punkt B <sub>0</sub>	punkt C <sub>0</sub>
k		8	0	0	0
t <sub>1</sub>	sek	7,35b	0,0079	0,005	0,0031
s <sub>1</sub>	mm	5	102	75	88
φ <sub>1</sub>	1°	6	60,7	48,4	23,9
ψ <sub>1</sub>	1°	13	60,4	48,3	45,4
w <sub>s</sub>	m/sek	11	19,9	12,6	18,7
w <sub>1</sub>	m/sek	9	9,8	8,4	13,1
u <sub>1</sub>	m/sek	12	22,8	16,9	19,8
u <sub>2</sub>	m/sek	21	56,2	56,2	56,2
w <sub>2</sub>	m/sek	19b	40,6	41,4	41,5
v <sub>2</sub>	m/sek	20	69,3	69,9	69,9
t <sub>2</sub>	sek	19a	0,0062	0,008	0,0065
λ <sub>2</sub>	1°	26	80	103,4	84
θ <sub>2</sub>	1°	22,23	140,7	151,8	175,6
α <sub>2</sub>	1°	32	35,8	36,4	36,5
Φ	1°	31		34,2	

## WNIOSKI

Analizując wyniki otrzymane w powyższym przykładzie stwierdzić można, że z punktu widzenia koncentracji strumienia czyszcziwa obecna konstrukcja nie przedstawia najwłaściwszego rozwiązania. Najlepszym rozwiązaniem jest takie wyprzedzenie ( $\varepsilon_p < \nu_0^h$ ) koła łopatkowego względem wirnika rozdzielczego, przy którym porcja czyszcziwa przeszkąby pod najbliższą łopatką roboczą ( $k = 0$ ) i zaatakowała w całości następną ( $k = 1$ ) możliwie najdalej środka obrotu (atak na łopatkę od jej wewnętrzznego końca  $k = 0$  dla  $\varepsilon_n$  rys.3, tabl.4 daje większe rozczepienie strumienia). Zwężony strumień pokrywa

mniejszą powierzchnię o 19%, lecz intensywność obstrzału jej jest o 24% większa, zakładając największą wydajność wirnika. Oznacza to możliwość skrócenia czasu czyszczenia odlewów o 19%, a tym samym zwiększenia wydajności oczyszczarki o 24% pod warunkiem, że w zasięgu bezpośredniego działania strumienia znajdzie się cały odlew lub cały oczyszczony ładunek. Prędkości wylotu czysciwa z wirnika w obu przypadkach można uznać za jednakowe. Prędkość  $w_s$  i kąt ataku  $\psi_1$  na łopatkę są mniejsze od tych wartości przy współpromiennym ustawieniu; ponieważ wielkości te wpływają na stopień zużycia łopatek roboczych, więc trwałość ich będzie większa.

## LITERATURA

- [1] Woprosy teorii litiejnych processow. Praca zbiorowa. Maszgiz, Moskwa 1960.
- [2] Jan Horoszko - Maszyny i urzadzenia odlewnicze Cz.I. Politechnika Śląska, Gliwice 1961.
- [3] W.M.Grebieńnik - Woprosy teorii rotornych mietatielnych maszin. Wiestnik maszynostrojenia Nr 5/1952.

## КИНЕМАТИКА СТРУИ ОЧИСТИТЕЛЯ ОТБРАСЫВАЮЩЕГО РОТОРА ТИПА ВЕЛЕБРАТОР

### С о д е р ж а н и е

Приведена общая характеристика отбрасывающих роторов очистителей. Описана кинематика струи очистителя в роторе типа Велебратор при положении конфигурации порции в распределяющем роторе. Описан период свободного полёта от распределительного ротора до момента соприкосновения с рабочей лопаткой, движение по лопатке, отброс и раздел порции на отдельные лопатки. На примере представлены возможности концентрации струи и интенсификации работы ротора.

## KINEMATICS OF CLEANING CURRENT OF SHOT-BLAST ROTOR WHEELABRATOR TYPE

### S u m m a r y

A general characteristic of casting cleaning plants shot-blast rotors has been given. The kinematics of cleaning current of Wheelabrator's type rotor at the setting of batch shape in the distributing rotor, the stage of free motion from the distributing rotor to the contact with the working vane, motion along the vane and outlet as well as batch distribution on separate vanes, were being discussed.

The possibilities of current concentration and of rotor performance intensification have been on the example shown.