

ANDRZEJ TOMPOROWSKI

Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

# Charakterystyki użytkowe rozdrabniaczy nasion zbóż.

## Część I. Model matematyczny

### Wprowadzenie

Produkcję i przetwarzanie materiałów rolno-spożywczych o biologicznie i mechanicznie określonych właściwościach, w dużej mierze, warunkuje rozwój innowacji techniki i technologii. W przetwarzaniu i produkcji tego typu materiałów istotną rolę odgrywa poznanie wskaźników użytkowych inżynierii rozdrabniania porowatych, niejednorodnych, anizotropowych materiałów ziarnistych.

Rosnąca wielkość rocznej światowej produkcji nasion zbóż, wywołuje konieczność wspomagania konstrukcji, procesu w kierunku podwyższenia funkcjonalności, tj.: sprawności, skuteczności; obniżania energochłonności i nierównomierności działania rozdrabniaczy, co za tym idzie coraz lepszego sterowania systemem. Jest to związane z jednej strony z zapewnieniem wysokiej wydajności i sprawności procesów przetwórczych, z drugiej zaś z uzyskaniem odpowiednich własności i jakości produktu [1–5].

Celem pracy jest opracowanie charakterystyk użytkowych rozdrabniania, ich modeli matematycznych oraz podstawowych zjawisk i procesu rozdrabniania materiałów przemysłu rolno-spożywczego.

### Charakterystyki obciążeń użytkowych

W procesie wielokrawędziowego rozdrabniania materiałów biologicznych zapotrzebowanie na moc  $P_R$  w zespole rozdrabniającym wielotarczowym, wielootworowym wynosi [2]:

$$P_R = P_{RJ} + P_{Q-S} + P_T + P_{OP} \quad (1)$$

gdzie:

$P_{RJ}$  – moc zużywana na pokonanie oporów ruchu jałowego,

$P_{Q-S}$  – moc zużywana na quasi-ściananie,

$P_T$  – moc zużywana na pokonanie oporów tarcia materiału rozdrabnianego o elementy robocze rozdrabniacza,

$P_{OP}$  – moc zużywana na pokonanie oporów aerodynamicznych w przestrzeni roboczej rozdrabniacza.

Zatem, w ujęciu momentów obrotowych i prędkości kątowych jednostek roboczych mamy:

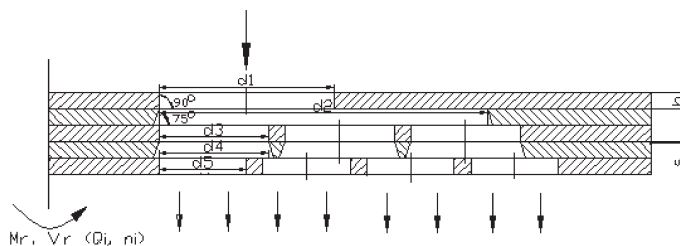
$$P_R = f(M_r, \omega) = M_n \omega_n = M_{RJ} \omega + M_{Q-S} \omega + M_T \omega + M_{OP} \omega \quad (2)$$

gdzie:

$M_n$  – momenty obrotowe w układzie napędowym,

$\omega_n$  – prędkość kątowa układu napędowego.

Zapotrzebowanie mocy na pokonanie oporów ruchu jałowego wyznaczyć można mierząc pobór mocy energii elektrycznej przez pracujący rozdrabniacz bez materiału wsadowego. Wpływa na nią przede wszystkim; charakterystyka silnika



Rys. 1. Przekrój przez tarcze rozdrabniające rozdrabniacza 5-tarczowego, wielootworowego

elektrycznego, przełożenie kinematyczne przekładni i konstrukcja samej maszyny:

$$P_{ORJ} = f(P_S, \eta_p, C_{Kd}) = 3 U_f I_f \cos \varphi \quad (3)$$

gdzie:

$P_S$  – moc charakterystyczna silnika,

$\eta_p$  – sprawność charakterystyczna przekładni,

$C_{Kd}$  – dynamiczne cechy konstrukcyjne charakterystyczne dla rozdrabniacza,

$U_f$  – napięcie fazowe,

$I_f$  – natężenie fazowe,

$\varphi$  – kąt przesunięcia fazowego.

Moc potrzebna, zużywaną na quasi-ściananie dla analizowanego zespołu rozdrabniającego, wielotarczowego przedstawia zależność:

$$P_{Q-S} = \sum P_{i Q-S} = \sum M_{i Q-S} (\omega_n - \omega_{n+1}) \quad (4)$$

$n$  – liczba tarczy rozdrabniających.

Moment sił quasi-ścianania wynosi:

$$M_{i Q-S} = F_i r_i (\mu \sin \tau + \cos \tau) \quad (5)$$

W wielotarczowym, wielootworowym zespole rozdrabniającym obciążenia mają charakter zmienny. W zespołach tych dominuje składowa siły obwodowej, spowodowana łukowym, (kołowym) kształtem krawędzi rozdrabniających (Rys. 2).

$$P_i = M_{i Q-S} (\omega_n - \omega_{n+1}) = F_i r_i (\omega_n - \omega_{n+1}) (\mu \sin \tau + \cos \tau) \quad (6)$$

więc

$$P_i = Q_i v_i (\mu \tan \tau + 1) \quad (7)$$

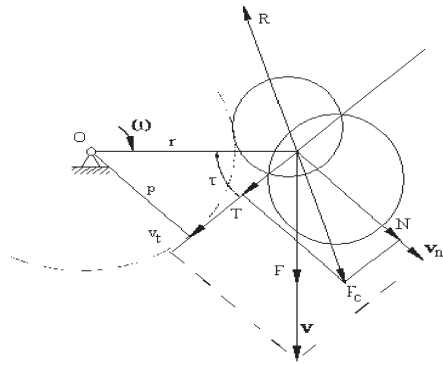
Wówczas

$$P_c = p_c \Delta l v_n (1 + \mu \tan \tau) \quad (8)$$

$p_c$  – jednostkowy opór cięcia,

$\Delta l v_n$  – powierzchnia cięcia w jednostce czasu,

$$dS = \Delta l r d\beta \cos \tau$$



Rys. 2. Pole (przekrój przez chwilową warstwę cięcia) i rozkład sił działających na materiał rozdrabniany między sąsiednimi krawędziami otworów rozdrabniających, rozdrabniacza wielotarczowego, wielootworowego RWT-5:KZ

$$F_c = p_c \frac{dS}{dt} (1 + \mu t g \tau) \quad (9)$$

Moc zużywana na quasi-ścinięcie materiałów biologicznych, ziarnistych zależy od jednostkowego oporu cięcia  $p_c$ , chwilowej powierzchni cięcia w jednostce czasu  $p_c \frac{dS}{dt}$  i tzw. Stałej rozdrabniania  $A = 1 + \mu t g \tau$ . Można wskazać eksploatacyjne warunki quasi-ścinięcia i obliczyć jednostkową pracę cięcia odniesioną do jednostki powierzchni cięcia:

$$L_i = \frac{M_c \omega dt}{dS} = p_c (1 + \mu t g \tau) = p_c A, [J/m^2] \quad (10)$$

Jednostkowe zużycie energii będzie wzrastać m.in. ze zwiększeniem współczynnika cięcia ślizgowego, zwiększeniu składowej prędkości cięcia ślizgowego towarzyszy zmniejszenie oporu cięcia, a tym samym i wielkości  $p_c$ . Należy zatem doświadczalnie znaleźć takie wartości kąta  $\tau$ , dla których jednostkowe zużycie energii będzie najmniejsze.

Praca, jaką wykonują krawędzie otworów rozdrabniacza wielokrawędziowego podczas jednego przejścia przez przeciwną warstwę, wynosi:

$$L_n = \int_{\varphi_p}^{\varphi_k} M_c(\Phi) \omega dt \quad (11)$$

gdzie:

- $M_c(\Phi)$  – moment oporu cięcia zależny od względnego kąta obrotu sąsiadujących ze sobą tarcz,
- $\varphi_p$  – kąt rozpoczęcia quasi-ścinięcia w danej parze otworów,
- $\varphi_k$  – kąt zakończenia quasi-ścinięcia w danej parze otworów.

Dla danej pary otworów moment quasi-ścinięcia wzrasta od zera, na początku cięcia, do wartości maksymalnej, a następnie stopniowo spada ponownie do zera w chwili zakończenia cięcia. Średni moment działający na wale tarczy rozdrabniających, przy założeniu, że liczba par współpracujących otworów wynosi  $z$  oraz, że każdorazowo pracuje tylko jedna para, to:

$$(M_c)_{sr} = \frac{L_n z}{2\pi} = \frac{z \int_{\varphi_p}^{\varphi_k} M_c(\Psi) d\Psi}{2\pi} \quad (12)$$

Jeżeli otwory quasi-ściniące pracują w cyklu ciągłym, to kąt obrotu jednego otworu danej tarczy wynosi:

$$\Phi_n = \frac{2\pi}{z} \quad (13)$$

a wzór przyjmie postać:

$$(M_c)_{sr} = \frac{z \int_0^{\frac{2\pi}{z}} M_c(\Psi) d\Psi}{2\pi} \quad (14)$$

Wartość i równomierność momentu w rozdrabniaczu wielokrawędziowym, wielotarczowym zależy od parametrów eksploatacyjnych zespołu rozdrabniającego i może być określona wzorem:

$$M_c = p_c \Delta l r \cos \tau (1 + \mu t g \tau) \quad (15)$$

Moc zużywana na pokonanie oporów tarcia materiału rozdrabnianego o elementy robocze rozdrabniacza wynosi:

$$P_T = \sum P_{i T} = \sum M_{i T} (\omega_n - \omega_{n+1}) \quad (16)$$

Dla zespołu 5-tarczowego:

$$P_T = P_{TP} + P_{T1} + P_{T1-2} + P_{T2-3} + P_{T3-4} + P_{T4-5} + P_{TO} \quad (17)$$

- $P_{TP}$  – moc zużywana na pokonanie oporów tarcia materiału rozdrabnianego z podajnika ślimakowego,
- $P_{T1}$  – moc zużywana na pokonanie oporów tarcia materiału rozdrabnianego o pierwszą tarczę, na wejściu do przestrzeni roboczej,
- $P_{T1-2} \dots$  – moc zużywana na pokonanie oporów tarcia materiału rozdrabnianego o powierzchnie boczne obracających się sąsiednich tarcz,
- $P_{TO}$  – moc zużywana na pokonanie oporów tarcia materiału rozdrabnianego o obudowę przestrzeni roboczej rozdrabniacza.

### Podsumowanie

Z prezentowanych w pracy modeli matematycznych (w kontekście wcześniej prowadzonych badań nad parametrami pracy rozdrabniaczy) wynika, że rozdrabniacze wielokrawędziowe, wielotarczowe w grupie rozdrabniaczy przemysłu rolno-spożywczego, wykazują mniejsze wahania pracy, ze względu na zmienność współczynnika cięcia ślizgowego  $t g \tau$ . W zespołach tych dominuje składowa siła obwodowa, spowodowana łukowym, kołowym kształtem krawędzi rozdrabniających.

### LITERATURA

1. J. Flizikowski: Projektowanie środowiskowe maszyn. Wyd. Ucz. ATR, Bydgoszcz, 1998.
2. J. Flizikowski, A. Flizikowski: Inteligentne systemy rozdrabniania żywności. Inżynieria Maszyn ŻCz vol. XIX, Bydgoszcz SAWO-ATR, 2002.
3. M. Opielak: Rozdrabnianie materiałów w przemyśle rolno-spożywczym. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1996.
4. M. Macko: Wpływ cech konstrukcyjnych zespołu wielotarczowego na charakterystyki użytkowe procesu rozdrabniania rurowych recyklatów tworzyw sztucznych. Dysert. WM-ATR, Bydgoszcz, 2000.
5. A. Tomporowski: Badanie nierównomierności działania wielokrawędziowych rozdrabniaczy materiałów. Dysertacja WM-PL, Lublin, 2002.