

Jerzy KALWAJ

e-mail: kalwaj@utp.edu.pl

Instytut Technik Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

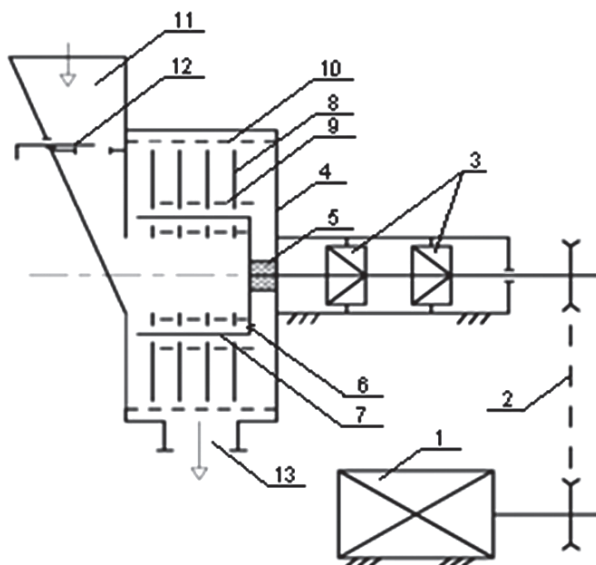
Bilans energetyczny rozdrabniania bijakowego ziarna zbóż

Wstęp

Jednym z podstawowych problemów technicznych jest obecne poszukiwanie technologii energooszczędnych lub modernizacja istniejących. Rozdrabniacze bijakowe realizujące główną operację w przemyśle paszowym należą do grupy maszyn zużywających znaczną ilość energii na tle innych maszyn rozdrabniających [1–3]. Jedną z dróg zmniejszenia zużycia energii jest optymalizacja lub modernizacja ich konstrukcji. W tym celu przeprowadzono modelowanie wymagające analizy bilansu energetycznego.

Kryteria oceny rozdrabniacza

Praca rozdrabniacza bijakowego (Rys. 1) polega na przekazywaniu energii kinetycznej przemieszczającym się ziarnom zbóż, czego konsekwencją jest pokonanie wiązań międzycząsteczkowych i ich rozpad. Redukcja wymiarowa ziaren umożliwi ich przejście przez perforację sita i opuszczenie komory roboczej.



Rys. 1. Schemat rozdrabniacza bijakowego: 1 – silnik napędowy, 2 – przekładnia pasowa, 3 – łożysko toczne, 4 – korpus – obudowa, 5 – uszczelnienie wirnika, 6 – wirnik, 7 – sworzeń wylotowy, 8 – bijak, 9 – tulejka dystansowa, 10 – sito, 11 – kosz zasypowy, 12 – dozownik, 13 – otwór

Energochłonność jednostkowa E_u , [kJ/kg] główny estymator ilościowy maszyn rozdrabniających, jest definiowana jako ilość energii efektywnej potrzebnej do otrzymania jednostki masy produktu, a obliczonej jako stosunek mocy efektywnej P_u do wydajności masowej Q :

$$E_u = \frac{P_u}{Q} \quad (1)$$

$$Q = \frac{m}{\tau} \quad (2)$$

$$E_u = \frac{P_u \tau}{m} \quad (3)$$

gdzie:

m – masa rozdrabnianego materiału,

τ – czas rozdrabniania materiału.

W praktyce stosuje się również pojęcie *energochłonności całkowitej* maszyny, zastępując moc P_u mocą całkowitą układu. Analizy energetycznej maszyny można dokonywać poprzez opis i ocenę wielkości podstawowych (energia, praca) lub pochodnych (moc, energochłonność).

Energochłonność jednostkowa rozdrabniaczy bijakowych zawiera się w przedziale (48–62) kJ/kg i jest 1,5-krotnie większa od tego parametru dla rozdrabniaczy tarczowych oraz 2-krotnie dla walcowych [1, 2].

Publikowane rezultaty badań rozdrabniaczy bijakowych pozwalają na stwierdzenie, że brak jest kompleksowych opracowań energetyki tych maszyn, natomiast powierzchowne analizy opisują ten problem bez uwzględnienia następujących zagadnień [1–4]:

- funkcji strumienia powietrza w procesie, traktując przede wszystkim opory pokonywane nakładem energetycznym wprost proporcjonalnym do 3. potęgi prędkości,
- zjawisk zachodzących w komorze roboczej maszyny, a w szczególności odchylenie się bijaków od położenia radialnego i tworzenia się wirującego pierścienia materiału,
- wyjaśnienia, dlaczego stosunek zderzeń efektywnych bijaków z ziarnem jest tak mały i od jakich czynników zależy.

Sprawność mechaniczną rozdrabniacza bijakowego można określić wzorem:

$$\eta_r = \frac{P_2 + P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (4)$$

gdzie:

P_1 – moc biegu jałowego,

P_2 – moc rozdrabniania cząstek,

P_3 – moc przyspieszania cząstek.

Brak możliwości precyzyjnego określenia składników wzoru (4) powoduje, że spotyka się dużą rozpiętość sprawności od kilku do kilkudziesięciu procent [2, 3].

Analiza procesu roboczego

Do głównych zjawisk energetycznych procesu rozdrabniania udarowego zalicza się:

- straty mechaniczne w zespole napędowym maszyny, w tym tarcie w łożyskach i uszczelnieniu wału, zwiększone przenoszeniem reakcji dynamicznie zmiennych,
- generowanie strumienia powietrza, który nie mając określonej wartości i kierunku pogarsza przebieg procesu w komorze roboczej,
- zderzenia efektywne bijaków z cząsteczkami (różnica prędkości większa od 42 m/s i określone miejsce kontaktu),
- zderzenia nieefektywne bijaków z cząsteczkami (mają miejsce wówczas gdy różnica prędkości jest mniejsza od 42 m/s),
- zderzenia cząstek między sobą, obudową i tworzenie tzw. wirującego pierścienia materiału,
- przechodzenie cząstek rozdrobnionych do pożądaných rozmiarów przez perforację sita,
- oddziaływanie erozyjne cząstek na elementy robocze maszyny.

Analiza procesu roboczego w rozdrabniaczu bijakowym pozwoliła na sformułowanie następującego przepływu i transformacji energii:

- Energia napędu E_n jest przekształcana na realizację biegu jałowego E_j oraz proces roboczy rozdrabniania ziarna E_p :

$$E_n = E_j + E_p \quad (5)$$

- Ponieważ rozdrabniacz bijakowy jest maszyną wirnikową szybko-obrotową, stąd bieg jałowy E_j jest sumą oporów mechanicznych E_m oraz oporów aerodynamicznych E_a :

$$E_j = E_m + E_a \quad (6)$$

- Badania własne wykazały, że odpowiednio wygenerowany (wartość, kierunek) strumień powietrza poprawia przebieg rozdrabniania [2–4].

Proces roboczy E_p w maszynie nie przebiega w sposób regularny, uporządkowany, lecz losowy. Stąd znaczna ilość energii jest przekazywana na zjawiska towarzyszące. Zbyt mała różnica prędkości bijaków i cząstek powoduje zderzenia sprężyste nieefektywne E_s . Energia E_s jest ponadto wykorzystywana do zderzeń cząstek między sobą oraz z powierzchnią wewnętrzną komory. Ponadto cząstki wprowadzane są w ruch kołowy i tworzenie tzw. wirującego pierścienia materiału przy powierzchni sita. Cząstki małe, pożądane wykazują zdolność do przechodzenia przez otwory w sicie i dalej na zewnątrz maszyny. Przyjmując energię zderzeń efektywnych jako E_r można zapisać:

$$E_p = E_r + E_s \quad (7)$$

Stosując zasadę bilansowania energetycznego otrzymuje się postać wzoru na sprawność mechaniczną rozdrabniacza bijakowego:

$$\mu_r = \frac{E_r + E_s}{E_m + E_r + E_s} \quad (8)$$

Opis oraz wyniki badań energetycznych i aerodynamicznych

W celu określenia wartości składowych przeprowadzono eksperyment dla trzech typów rozdrabniaczy bijakowych różnej mocy (3,5; 11 i 30) kW. Jako materiału do badań użyto jęczmienia, natomiast średnica otworów w sitach każdej maszyny wynosiła $\varphi = 5$ mm. Metodyka badań energetycznych polegała na wyznaczeniu wydajności masowej metodą wagową oraz chwilowych wartości poboru mocy za pośrednictwem miernika parametrów sieci MPS-9.

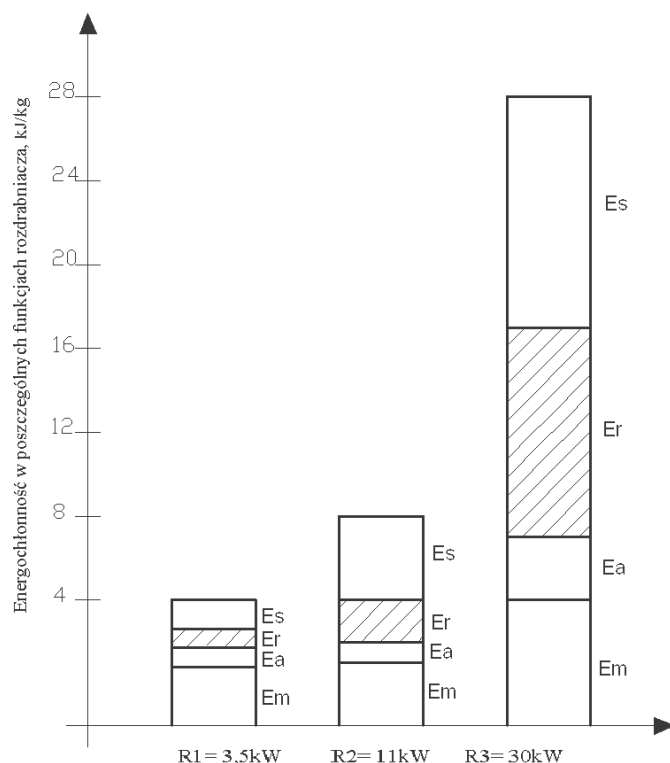
Istotne znaczenie w badaniach stanowiła możliwość wyznaczenia energochłonności rozdrabniacza udarowego czystej technologicznie (wzorcowej) z użyciem autorskiego przyrządu wahadłowego opisanego w pracy [3]. Rezultaty tej części badań pozwoliły określić ilość energii nieefektywnej, rozproszonej E_s .

Aerodynamikę układu wyznaczono stosując przysłonę na wlocie do maszyny i anemometr oporowy zainstalowany w kanale wylotowym.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na sporządzenie histogramów – składników bilansu (Rys. 2).

Wnioski

Analizując uzyskane rezultaty należy wyprowadzić następujące spostrzeżenia i wnioski:



Rys. 2. Diagram słupkowy podziału energii mechanicznej napędu dla różnych rozdrabniaczy bijakowych (E_m – energia strat mechanicznych, E_a – energia strat aerodynamicznych, E_r – energia zużyta na rozdrabnianie efektywne, E_s – energia rozproszona)

- W rozdrabniaczach bijakowych zapotrzebowanie energii na biegu jałowym jest bardzo duże co jest wynikiem dużych mas wirujących ze znaczną prędkością i zawiera się od 46% dla małych maszyn, do 21% dla dużych.
- Strumień powietrza wymaga optymalizacji energetycznej poprzez dobór średnicy i kształtu kanałów na wlocie i wylocie badanych rozdrabniaczy.
- Mała około 50-procentowa ilość zderzeń efektywnych w komorze roboczej świadczy o istnieniu dużej rezerwy energetycznej i uzasadnia możliwość modernizacji konstrukcyjno-funkcjonalnej rozdrabniacza.
- Sprawność mechaniczna dla badanych rozdrabniaczy zawiera się w przedziale 27,3–28,6%.

LITERATURA

- [1] J. Flizikowski: „Konstrukcja rozdrabniaczy żywności” Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz 2005
- [2] J. Kawaj: „Badanie wpływu konstrukcji wirnika na efektywność rozdrabniacza zbóż”. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1986
- [3] J. Kawaj: Inż. Ap. Chem. 45, nr 1-2, 45 (2006).
- [4] J. Kawaj: Inż. Ap. Chem. 44, nr 3s, 35 (2005).