

Andrzej TOMPOROWSKI

e-mail: a.tomprowski@utp.edu.pl

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

Rozwój konstrukcji rozdrabniaczy biomateriałów Część I: Model obiektu badań

Wstęp

Efektywność energetyczna, równomierność, zużycie energii, sprawność rozdrabniania ziarna ryżu, opory robocze na uzyskanie przyrostu powierzchni właściwej, przyrosty temperatury, pobór mocy i strumień wydajności procesu rozdrabniania, zależą od ruchu elementów, a zatem od właściwości materiałów rozdrabnianych i od konstrukcji zastosowanej maszyny.

Celem zasadniczym pracy była analiza efektywności energetycznej, sprawności i równomierności wielotarczowego, wielokrawędziowego rozdrabniania ziaren zbóż dla celów paszowych i energetycznych w kierunku optymalizacji konstrukcji rozdrabniaczy biomateriałów.

Dokonano próby opisu zachowania się (obciążenia, odkształcenia, przemieszczenia i naprężenia) rozdrabnianego medium w przestrzeni roboczej rozdrabniacza. Celem praktycznym było opracowanie metodyki innowacyjnych badań rozdrabniania ziaren wspomagającej projektowanie rozdrabniaczy.

Zagadnienie badawcze sformułowano w postaci pytania: Jakie warunki konstrukcyjne (W_k) parametry, cechy konstrukcyjne narzędzi (C_{KN}) w zastosowanych, analizowanych rozdrabniaczach (ZR_{BMZ}) i zmienne właściwości rozdrabnianego ziarna ryżu (W_{RR}) są niezbędne dla optymalnej realizacji procesu rozdrabniania biomateriałów ($PR_{optimum}$)?

$$\{[W_k(C_{KN})? \cap W_{RR}?]ZR_{BMZ}\} \Rightarrow PR_{optimum} \quad (1)$$

Warunki konstrukcyjne (W_k) określone są cechami konstrukcyjnymi (C_k) zespołu wielotarczowego, wielokrawędziowego w sensie: postaci geometrycznej (Π_k), liczby tarcz (l_t), liczby krawędzi ostrzy ruchomych (l_k), liczby otworów narzędziowych w tarczach (l_{otw}), liczby rzędów otworów (l_r), średnic otworów (d_{otw}), kątów ostrza krawędzi lub otworu (β_{ij}), i innych cech materiałowo-dynamicznych (C_{k-m-d}) elementów rozdrabniających.

Jako estymatory rozwiązania przyjęto stany postulowane (SP_u) procesu rozdrabniania: minimalny pobór mocy (N_u), racjonalną wydajność (W_u), wysoką efektywność energetyczną procesu (E_u) i jakość produktu (Q_R).

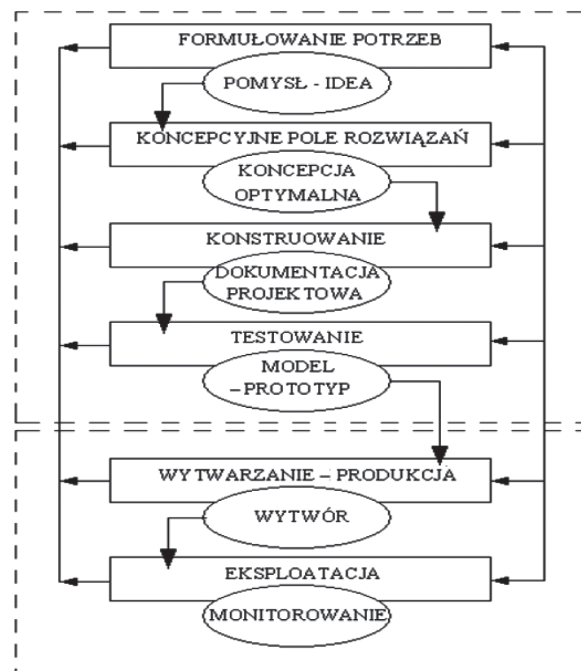
Postawiono hipotezę, że uzyskanie optymalnej jakości procesu rozdrabniania materiałów rolno-spożywczych możliwe jest w pewnym przedziale wartości parametrów konstrukcyjnych rozdrabniacza wielotarczowego, a przekroczenie wartości parametrów z tego przedziału, zmiana postaci lub wymiarów powoduje pogorszenie jakości produktu i efektywności procesu.

$$\alpha \{ [\rightarrow P, \rightarrow Q, \uparrow \eta, \uparrow e_R, \uparrow J_p] \cap [f_{dc}(x_i), f_{dc}(x_j)] \} \\ \Rightarrow \{ (C_k^* \in \langle X_n, X_m \rangle \Rightarrow J_{proc}) \cup (C_k^* \notin \langle X_n, X_m \rangle \Rightarrow J_{proc}) \} \quad (2)$$

gdzie:

 P – moc Q – wydajność η – sprawność e_r – energochłonność procesu J_p – jakość produktu X_m, X_n – brzegowe wartości parametrów konstrukcyjnych

Proces eksploatacyjny poprzedzony jest procesem projektowym i po myślnie zakończonym etapem wdrożeniowym (Rys.1).



Rys. 1. Proces projektowo-wdrożeniowy

Jeżeli system inteligentnego rozdrabniania nie osiąga pożądanych przez operatora postulowanych charakterystyk działania i użytkowania, np. niska efektywność działania, niewystarczająca jakość produktu, szkodliwość środowiskowa – to przyczyn można doszukiwać się w:

- poszczególnych składowych systemowych;
 - powód: zniekształcone elementy lub błędne ich wzajemne relacje,
 - systemie sterowniczym;
 - powód: nieprawidłowe oddziaływanie sterownicze,
- procesie rozdrabniania biomateriałów;
 - powód: błędna istota realizacji procesu i błędne oddziaływanie sterownicze.

Oczekiwanym stanem funkcjonowania sprawnie działającego systemu rozdrabniania są następujące modele rozwoju procesu:

- Efektywności działania – występują dane o strukturze i charakterystykach systemu działania;
- Jakości produktu – występują dane o jakości wytworu np. stopnia rozdrobnienia i procentowej zawartości frakcji oczekiwanej;
- Oddziaływania, życia, bezpieczeństwa – występują dane dotyczące następstw działania systemu działania i produktu.

W poszukiwaniu pożądanych rozwiązań zmierzających do rozwoju konstrukcji rozdrabniaczy biomateriałów należy przeprowadzić procedurę optymalizacyjną, np. metody analityczne, enumeratywne (wyobrażeniowe), losowego poszukiwania rozwiązań lub algorytmów genetycznych.

Model obiektu badań

Przebiegi chwilowe prędkości kątowych i momentu obrotowego pozwalają określić następujące parametry procesu rozdrabniania:

- przełożenie kinematyczne przekładni rozdrabniacza,
- przełożenie dynamiczne przekładni rozdrabniacza,
- moc na wejściu przekładni równą mocy na wyjściu z silnika napędowego,
- moc na wyjściu z przekładni równą mocy na wale rozdrabniacza,
- sprawność napędu.

Znalezienie relacji między, funkcjonalnością, równomiernością działania, wybranymi charakterystykami ruchowo-energetycznymi procesu rozdrabniania, a cechami konstrukcyjnymi zespołu rozdrabniającego biomateriały uzasadnia potrzebę przeprowadzenia analizy, badań studialnych i eksperymentalnych quasi-ścianania dla wyznaczenia wskaźników zmiennych modelu obiektu badań. Przyjęto kryteria konstrukcyjne dotyczące:

- optymalnych obciążeń,
- optymalnego tworzywa,
- optymalnej stateczności,
- optymalnych stosunków wielkości związanych.

Proces projektowy (innowacji i rozwoju) należy tak prowadzić, by warunki użyteczności maszyny rozdrabniającej biomateriały spełniały cechy konstrukcyjne:

- maksymalizujące funkcję równomierności, sprawności, wydajności, stopnia rozdrobnienia

$$\{C_k^* \in \phi\}: \left\{ \bigwedge_{c_k \in \phi} H_u(c_k) < H_u(c_k^*) \right\} \text{ dla } H_u: e_R \uparrow, W_u \uparrow, \eta \uparrow, \lambda \uparrow \quad (3)$$

- minimalizujące zapotrzebowanie mocy, jednostkowego zużycia energii, rozproszenia energii, momentu obrotowego, prędkości kątowych, liniowych i obrotowych

$$\{C_k^* \in \phi\}: \left\{ \bigwedge_{c_k \in \phi} H_u(c_k) > H_u(c_k^*) \right\} \text{ dla } H_u: N_u \downarrow, E_T \downarrow, M \downarrow, \omega \downarrow, v \downarrow, n \downarrow \quad (4)$$

gdzie:

- C_k^* – rozwiązanie zadania,
- ϕ – obszar dopuszczalny wektora cech konstrukcyjnych,
- H_u – charakterystyki użytkowe wektora cech konstrukcyjnych.

Modelowanie nierównomierności $\delta_d = f(M(t))$

Przebiegi nierównomierności dynamicznej pracy rozdrabniacza można opisać w postaci matematycznej wg formalizacji:

- wykładniczej:

$$M(t) = M_1 e^{j\omega t} + M_2 e^{j\omega t} + \dots + M_n e^{j\omega t} \quad (5)$$

- trygonometrycznej:

$$M(t) = a_0 + c_1 \cos(n\omega t + \phi_1) + c_2 \cos(n\omega t + \phi_2) + \dots + c_n \cos(n\omega t + \phi_n) \quad (6)$$

Wykresy dystrybuanty zmiennej losowej $E(M, \omega)$:

- dynamicznej

$$Et(M) = P(M(t) < x) \text{ oraz } Et + \Delta t(M) = P(M(t + \Delta t) < x), \quad (7)$$

- kinematycznej

$$Et(\omega) = P(\omega(t) < \omega) \text{ oraz } Et + \Delta t(\omega) = P(\omega(t + \Delta t) < \omega), \quad (8)$$

gdzie:

- M – moment obrotowy na wale rozdrabniacza,
- ω – prędkość kątowa wału rozdrabniacza.

Proces rozdrabniania w ujęciu statystycznym jest stacjonarny, gdy otrzymane dystrybuanty są równe:

$$Et(M, \omega) = Et = \Delta t(M, \omega) \quad (9)$$

Dyskusja i analiza

Oczekiwane cechy konstrukcyjne z pola możliwych rozwiązań zadania projektowo-konstrukcyjnego dla modelu obiektu badań własnych są funkcją wielu zmiennych, a więc

$$C_k = f(\eta \uparrow, W \uparrow, N_e \downarrow, E_T \downarrow, \omega \downarrow, M \downarrow, v \downarrow, n \downarrow) \quad (10)$$

gdzie:

- C_k – rozwiązanie zadania projektowo-konstrukcyjnego
- Model efektywności przyjęto w postaci:

$$\Delta e_R = \frac{K}{N_E} \quad (11)$$

gdzie:

- Δe_R – przyrost energetycznej efektywności rozdrabniania, [-],
- K_E – korzyści energetyczne, [$J \cdot g^{-1}$],
- N_E – nakłady energetyczne, [$J \cdot g^{-1}$],
- w którym Δe_R opisano również jako

$$\Delta e_R = \frac{(\Delta) E_{pp}}{(\Delta) E_{R\lambda(F)}} \quad (12)$$

gdzie:

- E_{pp} – energia podatności przetwórczej, [$J \cdot g^{-1}$],
- $E_{R\lambda(F)}$ – energia rozdrabniania (fenomen), np. na uzyskanie produktu o pożądanej frakcji oraz postulowanym procentowym udziale masowym, [$J \cdot g^{-1}$].

Efektywność procesu rozdrabniania można określić wyznaczając efektywności: energetyczną, ekonomiczną czy ekologiczną, a sprawność procesu rozdrabniania biomateriałów – wyznaczając sprawność pozyskania surowca bioenergetycznego, sprawność przetworzenia (wytworzenia), sprawność użytkowania (wykorzystania).

Podsumowanie

Na podstawie rozważań teoretycznych oraz wcześniejszych prac badawczych można stwierdzić, że uzyskanie optymalnej jakości rozdrabnianego materiału oraz zadowalającej funkcjonalności procesu rozdrabniania ziaren ryżu możliwe jest w dopuszczalnym przedziale wartości cech konstrukcyjnych rozdrabniacza wielotarczowego. Przekroczenie tych wartości spowoduje pogorszenie efektywności procesu i jakości produktu rozdrabniania.

LITERATURA

- [1] J. Flizikowski: Konstrukcja rozdrabniaczy żywności. Wyd. ATR Bydgoszcz 2005.
- [2] J. Flizikowski, K. Bieliński, M. Bieliński: Podwyższenie energetycznej efektywności wielotarczowego rozdrabniania nasion zbóż na paszę. Wyd. ATR-OPO, Bydgoszcz 1994.
- [3] J. Flizikowski, M. Bieliński: Rozdrabniacz wielotarczowy zwłaszcza do materiałów ziarnistych. Patent PRL P-140486, UP, Warszawa 1988.
- [4] A. Tomporowski: Ekologia i Technika **18**, nr 3, 161 (2010).
- [5] A. Tomporowski: Ekologia i Technika **18**, nr 6, 381 (2010).