

Krzysztof TYSZCZUK, Marek JANKOWSKI, Marcin BRZOZOWSKI

e-mail: krzysztof@zjtechnology.pl

ZJ Technology Sp. z o.o., Bydgoszcz

Konstrukcja rozdrabniacza i proces rozdrabniania nasion oleistych

Wstęp

Do nasion interesujących pod kątem preparacji suplementów diety człowieka zalicza się m.in. nasiona lnu (złote i brązowe), lniankę, szałwię hiszpańską (nasiona chia), kozieradkę, czarnuszkę, gorczycę.

Przedstawione w pracy zmiany konstrukcyjne i procesowe miały pozwolić na przemysłowe efektywne rozdrabnianie nasion o dużej zawartości tłuszczu i olejków eterycznych [Tyszczyk i Jankowski, 2017]

Głównym celem projektu i prowadzonych w nim badań było uzyskanie przemysłowej wersji rozdrabniacza pozwalającej przy parametrach procesu na skuteczne rozdrabnianie nasion, uzyskanie produktu bez emisji tłuszczu, bez sklejania materiału rozdrobnionego i bez wzrostu temperatury produktu, a przy zachowaniu racjonalnych wartości wydajności masowej, zapotrzebowania mocy i jednostkowego zużycia energii.

Przyjmując takie założenia zbadano również wpływ rozdrabniania na zmianę własności fizykochemicznych rozdrobnionego produktu biologicznego. Zakres badań dotyczył składu chemicznego oraz zmienności zawartości nitrylozydów (glikozydów nitrylowych), białek, tłuszczu, skrobi, witamin z grup A, D, E i K oraz toksyczności i aktywności przeciwdrobnoustrojowej w materiale przed i po rozdrobnieniu [Moraczewski 2018].

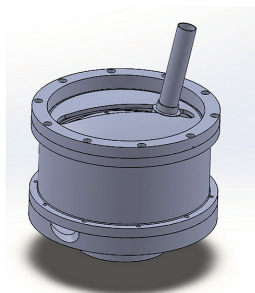
Zmiany konstrukcji rozdrabniacza

Badaną konstrukcją był laboratoryjny rozdrabniacz RPW-11TN o zmiennych parametrach procesu [Tyszczyk, 2006; Macko, 2017]. Zachowując istotę precyzyjnego rozdrabniania, zaprojektowano i wykonano rozdrabniacz o przemysłowej wydajności rozdrabniania wynoszącej ok. 500 kg/h materiału wsadowego (bez blokowania procesu). Dla precyzyjnego sterowania procesem opracowano i zbudowano system pomiarowo-kontrolny rozdrabniania zawierający m.in. układy pomiaru przepływu masy, temperatury we/wy materiału, wielkości cząstek rozdrobnionych, wilgotności i wartości podciśnień w ciągu transportowym (Rys. 1).

Jedną z ważnych zmian konstrukcyjnych rozdrabniacza było wprowadzenie możliwości przesunięcia osi wlotu materiału w stosunku do osi rozdrabniacza (Rys. 2) oraz dostosowanych do takiej konstrukcji noży tnących.

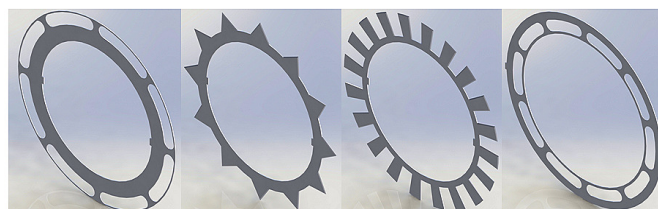


Rys. 1. Widok roboczej stacji kontroli parametrów procesu precyzyjnego rozdrabniania nasion oleistych oraz stanowiska rozdrabniacza (wersja pierwsza)



Rys. 2. Wizualizacja zmiennej osi wlotu materiału do rozdrabniacza

Zaprojektowano i wykonano 30 nowych postaci geometrycznych noży, uwzględniając w ich wytworzeniu możliwość cięcia laserowego bezodpadowego. Przeprowadzone badania rozdrabniania konkretnych nasion, potwierdziły szczególną przydatność kilku rozwiązań technicznych (Rys. 3).



Rys. 3. Widok wybranych noży tnących rotora i stojana o zmiennej geometrii

Korzystna konfiguracja zestawu noży zawierała: osiem par noży, cztery z nich stanowią noże o dwukątowych, komplementarnych wypustkach, odpowiednio w nożu ruchomym i nieruchomym, a pozostałe 4 pary stanowią noże, o jednokątowych wypustkach, odpowiednio w nożu ruchomym i nieruchomym. Innowacyjnym rozwiązaniem cech materiałowych noży było zastosowanie stali sprężystej typu IH18N9. Korzystne cechy zestawu noży są następujące: prosta konstrukcja, niskie koszty wytworzenia, łatwość i szybkość ich wymiany, jednorodny liniowo kontur ścinająco-tnący, a zarazem duża elastyczność w doborze ich konfiguracji, w zależności od rodzaju rozdrabnianego materiału.

Zmiany parametrów procesu

Podstawą dobrze realizowanego procesu rozdrabniania nasion oleistych (uzyskanie wymaganego stopnia rozdrobnienia) jest m.in. dobór odpowiedniego przepływu powietrza o wymaganym podciśnieniu i prędkości oraz kontrolowanej ilości nadawy na wlocie do rozdrabniacza.

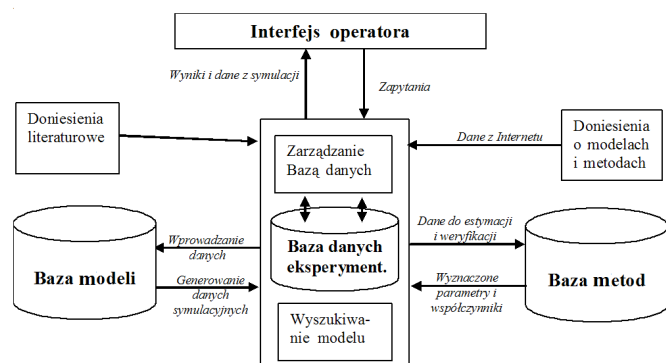
Proces rozdrabniania opiera się na warunkach zdefiniowanych jakością i potrzebami operacyjnymi, do których należą m. in.:

- rodzaj materiału, wpływający na układ i rodzaj tarcz roboczych w rozdrabniaczu,
- rodzaj materiału i stopień rozdrobnienia, na podstawie których dobierana jest prędkość obrotowa noża rozdrabniacza (w zakresie $1420 \div 2800 \text{ min}^{-1}$),
- utrzymanie wydajności (sprawności procesu), wymagające ustawienia wielkości podciśnienia w zbiorniku na produkt rozdrabniania oraz na wlocie materiału do rozdrabniacza (ustawienie aspiratora – transport pneumatyczny),
- wysoka sprawność procesu (brak blokowania przez wsad) – ilość podawanego materiału do kosza zasypowego, sterowana silnikiem podajnika ślimakowego zasobnika.

Podane wymagania jakościowe i operacyjne oraz ich stany są kontrolowane i wizualizowane (Rys. 1) oraz na bieżąco poddawane korekcie (układ sterowania zamknięty). Działania te oparte są na mechatronicznych systemach kontroli wybranych stanów procesu, korygowane poprzez komputerowo wspomagane procesy decyzyjne, w tym również wspomagane AI, co było już przedmiotem wcześniejszych badań [Jankowski i in., 2009; Pecháč, 2016].

Dobór parametrów rozdrabniania

Na rys. 4 pokazano schemat ogólnego systemu działania przyjętego do wspomagania eksperymentalnego rozdrabniania.



Rys.4. Diagram systemu działania przyjętego w opracowaniu

Konieczne było przyjęcie modeli następujących czynności, jak:

- interpolacja i ekstrapolacja w celu uzyskania wskazówek do planowania kolejnych eksperymentów,
- eksploatacyjne zmiany parametrów procesu gwarantujących utrzymanie założonych wskaźników jakościowych (udziały procentowe frakcji),
- identyfikowanie eksploatacyjnych czynników zakłócających proces lub nawet identyfikacja uszkodzeń układu mechanicznego rozdrabniacza.

Wybrano model statystyczny, uwzględniający nieliniowości występujące w procesach i systemach rzeczywistych oraz posiadający wiele wyjść i wejść typu NARX (*Nonlinear AutoResgressive with exogenous variable*). Ogólną postać NARX zapisuje się w postaci:

$$\hat{y}_{i,k} = g_i(\hat{y}_{1,k-1}, \dots, \hat{y}_{1,k-n_{1,y}}, \dots, \hat{y}_{m,k-1}, \dots, \hat{y}_{m,k-n_{m,y}}, \dots, u_{1,k-1}, \dots, u_{1,k-n_{1,u}}, \dots, u_{r,k-1}, \dots, u_{r,k-n_{r,u}}, p_i) \quad (1)$$

gdzie: $i = 1, \dots, m$

Wyjście przyjmuje się jako złożone z części opisywanej przez model i odchylenia:

$$y_k = \hat{y}_k + \varepsilon_k \quad (2)$$

Wejścia oznaczone są symbolami u_r , p_i to składowa wektora parametrów. Zadanie identyfikacji modelu sprowadza się do wyznaczenia wektora parametrów p oraz nieznannej funkcji $g(*)$.

W praktyce dopasowanie modelu odbywa się przy dodatkowych założeniach, że funkcja g jest wielomianem n -rzędu, zaś parametry p są liniowe bądź nieliniowe. Takie zażyczenie w dalszym ciągu pozostawia bardzo liczny zbiór struktur modeli.

Jako narzędzie do efektywnego wyszukiwania adekwatnego modelu wybrano metodę obliczeniową opartą na prawach ewolucyjnych – metodę programowania genetycznego. Możliwy do automatycznego wygenerowania zbiór struktur modeli wraz z wyznaczonymi wektorami parametrów może zostać poddany przetwarzaniu prostym algorytmem genetycznym. W efekcie rywalizacji względem dopasowania do danych pomiarowych oczekiwane jest uzyskanie kilku zidentyfikowanych modeli, które możliwie najlepiej opiszą badany

system rozdrabniania. W przypadku rozpatrywanym w pracy proces opisany jest funkcją następujących zmiennych:

$$Y = g^*(S, B, n, G/W, Z) \quad (3)$$

gdzie: S – system noży rozdrabniających, B – dystans między nożami, n – prędkość obrotowa wirnika, G – zadawanie szarżowe, W – zadawanie ciągle, Z – stan pneumatycznego układu transportowego.

Proces jest oceniany na podstawie procentowej zawartości rozdrobnionych czterech frakcji: u_{max} , u_{16} , u_8 , u_{min} . Na podstawie wiedzy *a priori* ekspertów kryteria oceny procesu wyglądają następująco:

- udział u_{min} możliwie niski – odzwierciedla straty materiałowe i dodatkowe straty energetyczne procesu,
- udział frakcji u_8 możliwie wysoki jako pożądanego produktu,
- udział frakcji u_{16} możliwie niski ze względu na nieefektywną (żywieniowo i produkcyjnie) postać produktu w tej frakcji,
- udział frakcji u_{max} możliwie niski odzwierciedlający straty energetyczne (konieczność ponownego przemiału).

Istotne w procesie oceny jest nadanie wag poszczególnym kryteriom, odpowiednio: w_{max} , w_8 , w_{16} , w_{min} . Udział powyższych frakcji można śledzić w czasie rzeczywistym ze względu na wykorzystanie układu wizyjnego do kontroli wielkości produktu rozdrabniania i wprowadzania na tej podstawie niezbędnych zmian parametrów procesu.

Podsumowanie

Przedstawiono opis prac konstrukcyjnych i eksperymentalnych, których celem było zbudowanie wersji przemysłowej rozdrabniacza precyzyjnego. Istotnym zagadnieniem okazało się zamodelowanie parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych jako zmiennych dla prowadzonych eksperymentów.

Zastosowanie algorytmów genetycznych i oceny produktu metodą wizyjną pozwoliło na szybkie przeprowadzenie optymalizacji konstrukcji i uzyskanie nastaw urządzenia dla różnych rodzajów nasion oleistych. Badania toksyczności potwierdziły jakość produktu.

Dalsze prace powinny dotyczyć układu transportu pneumatycznego – gdyż w tym upatrywana jest dalsza poprawa efektywności procesu rozdrabniania.

LITERATURA

- Jankowski M., Tyszczyk K., S. Kopacz S., (2009). Algorytm optymalizacji rozdrabniania nasion oleistych z wykorzystaniem programowania genetycznego. *Inż. Ap. Chem.* 48(2), 54-55
- Macko M., Flizikowski J., Szczepański Z., Tyszczyk K., Śmigielski G., Mroziński A., Czerniak J., Tomporowski A. (2017). *CAD/CAE applications in mill's design and investigation* [In:] Rusiński E., Pietrusiak D. (eds.) Proc. of the 13th Int. Sci. Conf.: Computer Aided Engineering, June 22-24, 2016, Polanica Zdrój, Poland. Part of the Lecture notes in mechanical engineering book series, Springer Int. Pub., 343-351. DOI: 10.1007/978-3-319-50938-9 (ISBN: 978-3-319-50937-2)
- Moraczewski K. (2018). *Raport z wykonanych badań toksyczności oraz własności fizykochemicznych rozdrobnionego produktu*. Na zamówienie ZJ Technology sp. z o.o., Bydgoszcz
- Pecháč, P., M. Sága, M. (2016) Controlling of local search methods' parameters in memetic algorithms using the principles of simulated annealing. *Proc. Eng.*, 136, 70-76. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.176
- Tyszczyk K., Jankowski M., (2017). *Procesowe i konstrukcyjne wspomaganie wytwarzania biologicznej suplementacji diety - rozdrabniacz subprecyzyjny*. Projekt nr RPKP.01.03.01-04-0044/16. UM Woj. Kujawsko-Pomorskiego
- Tyszczyk K. (2006) *Badania efektywności rozdrabniania nasion lnu*. Rozprawa doktorska, Wydz. Maszyn Roboczych i Transportu, Pol. Poznańska, Poznań
- L. Ljung, (1987). *System identification: Theory for the user*. Prentice-Hall, New Jersey
- Pracę wykonano w ramach projektu „Procesowe i konstrukcyjne wspomaganie wytwarzania biologicznej suplementacji diety - rozdrabniacz subprecyzyjny”, wspieranego przez Regionalny Program Operacyjny Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2014-2020.**