J. Flizikowski, M. Macko¹

Department of Special and Environment Protection Machines, University of Technology and Life Sciences Bydgoszcz, ul. Ks.Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz;

¹Department of Machine Construction and Dynamics, Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland

GENETYCZNE WSPOMAGANIE KONSTRUKCJI ROZDRABNIACZY WIELOTARCZOWYCH

STRESZCZENIE

W pracy zaproponowano wdrożenie implementacji AI pod kątem określenia warunków konstrukcyjnych rozdrabniaczy wielotarczowych do tworzyw. W tym celu opracowano i zweryfikowano szereg aplikacji, które wykorzystują mechanizmy znane z funkcjonowania algorytmów genetycznych. Dodatkowo podjęto próby podwyższenia poziomu mobilności potencjalnego konstruktora dzięki temu, że zastosowano z powodzeniem aplikacje w telefonie komórkowym.

Key words: *wspomaganie konstrukcji rozdrabniaczy, algorytmy genetyczne*

WPROWADZENIE

Genetyczne wspomaganie koncipowania konstrukcji rozdrabniaczy wielotarczowych, jako procedura matematyczna, jest próbą odpowiedzi na twórczą złożoność procesu wymyślania licznych suboptymalnych odmian jednej konstrukcji. Pierwsze próby, wspomaganie twórców rozdrabniaczy wielotarczowych, zrealizowano za pomocą stacjonarnych komputerów z zaimplementowanym programem IE_TEST-07_BIO [3, 4]. Wspomaganie było bardzo efektywne, ale nie pozwalało na mobilny dostęp do programu. Dokonano prób wdrożenia programu w telefonie komórkowym. Próby okazały się bardzo owocne i wygodne we współpracy dla twórców. Program IE_TEST-07_BIO, działający z wykorzystaniem właściwości algorytmów genetycznych, w inteligentnym wspomaganie koncipowania konstrukcji wielotarczowych rozdrabniaczy, materiałów o zidentyfikowanych właściwościach, został napisany w języku Java i wdrożony do telefonu komórkowego, funkcjonującego z reguły również w tym języku programowania, w środowisku Micro Edition [3].

Problem: Jakie warunki matematyczne (model, funkcja przystosowania), informatyczne (program, sprzęt) i mechaniczne (konstrukcji zespołu rozdrabniacza), są niezbędne dla zaistnienia stanu mobilnego oraz optymalizacyjnego wspomaganie konstruktora wielotarczowych rozdrabniaczy materiałów w zakresie stabilizacji przekroju rozdrabniania, wysokiej efektywności energetycznej przetwórstwa i równomierności działania?

ZAŁOŻENIA

Organizacją i rozwojem układów technologicznych do rozdrabniania rządzą następujące zasady: celowości działania, energii (działania) minimum, autoregulacji (nawet, jeśli jest to tylko możliwość zrealizowania podziału materii) i piętrowej konstrukcji, co można sprowadzić do miar, wskaźników i modeli stabilizacji chwilowych przekrojów rozdrabniania, czyli zwiększenia równomierności działania, a dalej do podwyższenia efektywności energetycznej przetwórstwa.

Integron rozdrabniania złożony jest z jednostek o rozmiarach powierzchniowo, siłowo i energetycznie dobrze określonych i chwilowych strukturach prawie identycznych, co z założenia wypełnia warunek zastosowania procedur algorytmu genetycznego.

MODEL MATEMATYCZNY, FUNKCJA PRZYSTOSOWANIA

W procesie oceny osobnika (rozwiązania koncepcyjnego konstrukcji zespołu rozdrabniającego) wykorzystywana jest analiza ekstremów funkcji (charakterystyk użytkowych), estymatorów zmiennych procesu rozdrabniania [3]:

- e_R - funkcja efektywności energetycznej, - ,
- ΔF_R - zmiana przekroju rozdrabniania, m^2 ,
- ω, n, v - prędkości kątowe, obrotowe, liniowe, $rad \cdot s^{-1}$, s^{-1} , $m \cdot s^{-1}$,
- η - sprawność, -.

Jakość konstrukcji, potencjalne rozwiązanie oceniane jest na podstawie funkcji przystosowania - oznaczającej wartość standardowego odchylenia dla określonego estymatora: przekroju rozdrabniania lub efektywności energetycznej, może mieć następującą postać:

$$\Delta F_R = \sqrt{\frac{n \cdot \sum_i F_{R,i}^2 - \left(\sum_i F_{R,i} \right)^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (1)$$

gdzie:

- ΔF_R - odchylenie standardowe przekroju rozdrabniania,
- $F_{R,i}$ - wartość przekroju rozdrabniania w i-tej iteracji algorytmu symulującego proces rozdrabniania,
- n - liczba obserwacji (liczba próbek czasowych).

Zastosowanie odchylenia standardowego pozwala odczytać przydatność konstrukcji w kategoriach stabilnej pracy pakietu a jednocześnie małe odchylenia od średniej, gwarantują małą zmienność zapotrzebowania na energię.

Do oceny efektywności - sprawności quasi-ścinania materiałów biologicznych na cele paszowe zastosowano wskaźnik funkcji przystosowania:

$$e_{RP} = \frac{(\eta_{q-s} - \eta_o) \cdot E_{brutto} \cdot \eta_s \cdot \eta_p}{(k_j \cdot v_r + \tau_{q-s} \cdot F_{q-s}' + \varepsilon \cdot F_R' \cdot v_r^2) \cdot M_k \cdot v_r \cdot t} \quad (2)$$

gdzie:

- η_{q-s} - strawność produktu rozdrabniania *in vitro*, - ,
- η_o - strawność całych, nie rozdrobnionych nasion, ziaren *in vitro*, - ,

E_{brutto}	- energia zawarta w przetwarzanych ziarnach, pszenżyto: $16.000, \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,
η_s, η_p	- sprawność układu napędowego rozdrabniacza (silnika i przekładni), -
k_j	- współczynnik oporów ruchu jałowego, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$,
v_r	- prędkość quasi-ścinania, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,
τ_{q-s}	- naprężenia quasi-ścinające, $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$,
F_{q-s}	- chwilowy przekrój quasi-ścinania (koło), m^2 ,
F_R'	- przekrój oddziaływań wtórnych quasi-ścinania, m^2 ,
ε	- współczynnik proporcjonalności, $\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{m}^{-4}$,
M_k	- wskaźnik krotności próby masowej, -

W procedurze optymalizacyjnej, funkcję przystosowania wzbogacono dodatkowymi warunkami. Z chwilowym przekrojem rozdrabniania (F_R) wyznaczanym w kolejnych iteracjach procesu, związany jest współczynnik wypełnienia i-tej szczeliny roboczej Ψ . Wartość współczynnika jest determinowana przez stosunek średniego wymiaru rozdrabnianego materiału do grubości tarczy [3]. Jej specyfika zależy więc od rozdrabnianego surowca. Na potrzeby symulacji ograniczono przestrzeń możliwych wartości współczynnika Ψ do trzech dyskretnych, wyznaczanych z proporcji:

$$K_{d/h} = \frac{d_{sr}}{h_{sr}} \quad (3)$$

gdzie:

d_{sr} - średni wymiar materiału biologicznego (kuli), m,

h_{sr} - średnia grubość tarcz dla zespołu roboczego, m.

Jeśli średni wymiar materiału rozdrabnianego (d_{sr}) jest znacznie większy od średniej grubości tarcz w pakiecie (h_{sr}) wartość współczynnika $K_{d/h}$ będzie zmierzała do nieskończoności ∞ . Gdy natomiast średnia grubość tarcz znacznie przewyższa średni wymiar materiału – współczynnik $K_{d/h}$ zmierza do zera. W przypadku porównywalnych rozmiarów wsadu i grubości tarcz współczynnik $K_{d/h}$ jest równy jedności. Ze względu na malejące wymiary materiału rozdrabnianego: od wejścia do wyjścia z zespołu rozdrabniającego, można zakładać, że wartość współczynnika wypełnienia Ψ będzie także zmieniała się w funkcji innych parametrów geometrycznych rozdrabniacza (liczba „przebytych” tarcz, gradientu prędkości) - mimo tego, aby uprościć symulację, założono ograniczenie w postaci przynależności $K_{d/h}$ do zbioru $\{0,1,\infty\}$. W przyszłości możliwe jest uwzględnienie zmian zależności $K_{d/h}$ od czasu, w procesie rozdrabniania w miarę przemieszczania surowca: od wejścia do wyjścia maszyny. Dla opisanych wariantów, stosunku średniego wymiaru wsadu do średniej grubości tarcz w pakiecie, wyznaczono eksperymentalnie. Współczynnik wypełnienia Ψ wynosił [3]:

$$\begin{aligned} \Psi = 0.12 &\Leftrightarrow K_{d/h} \longrightarrow \infty \\ \Psi = 0.06 &\Leftrightarrow K_{d/h} = 1 \\ \Psi = 0.01 &\Leftrightarrow K_{d/h} \longrightarrow 0 \end{aligned} \quad (4)$$

W momencie ścinania powstają naprężenia towarzyszące odkształceniom trwałym ($\tau_{q-s} = \sigma$). W zależności od kąta ostrza (γ), krawędzi nawiercenia otworu, do powierzchni tarczy, wartość naprężeń zmienia się. Funkcja opisująca zależność naprężeń od kąta γ może być estymowana linią prostą postaci:

$$\sigma_{Sur}(\gamma) = \gamma \cdot (B_{Sur} + B_d) + (A_{Sur} + A_d) \quad (5)$$

gdzie A i B są współczynnikami zależnymi od rozdrabnianego surowca oraz twardości ostrza $A, B: f(M_{BIO}, \delta)$.

Na podstawie wyników badań, w warunkach rzeczywistego rozdrabniacza, dla pszenicy uzyskano wykres naprężeń $\sigma_{pszenica}$ w funkcji kąta $\gamma \in \langle 15^\circ \dots 90^\circ \rangle$ oraz grubości ostrza – czyli niejawnie czasu (Rys. 1) [3].

Rys. 1. Zależność naprężeń od kąta krawędzi tnącej oraz grubości ostrza; (0,53-0,78) – naprężenia minimalne, (0,65-2,00) – naprężenia standardowe

Proste na wykresie (Rys. 1) przedstawiają dwie ekstremalne sytuacje:

- zmianę naprężeń rozdrabniania dla minimalnej grubości ostrza krawędzi tnącej $\delta = 0.063$ mm (prosta granatowa, z punktami w postaci znaków karetki),
- zmianę naprężeń rozdrabniania w przypadku stępienia ostrza do wartości $\delta = 0.125$ mm, utrzymującego się w rzeczywistości przez większą część czasu życia ostrza (na wykresie linia różowa z punktami w kształcie kwadratów).

W początkowej fazie rozdrabniania, ostrze krawędzi tnącej zachowuje swoją pierwotną grubość, przez krótki czas, po czym grubość ta szybko deformuje się osiągając stan przejściowy – przy założeniu konkretnej wartości kąta krawędzi tnącej, reprezentowany przez prostą o większym nachyleniu. Wykres obrazuje sytuację wzrostu naprężeń (nachylenie prostej) dla większych wartości kąta krawędzi tnącej oraz ze wzrostem grubości ostrza – ukryta zależność funkcji od czasu. Aby kompleksowo opisać zależności zachodzące podczas rozdrabniania należy w modelu matematycznym uwzględnić informację o relacji pomiędzy grubością ostrza, a naprężeniami powstającymi w materiale biologicznym.

W zależności od kąta krawędzi quasi-ściągającej, różna będzie początkowa grubość ostrza:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0.063 \text{ mm} & \Leftrightarrow \gamma < 45^\circ \\ 0.4 \text{ mm} & \Leftrightarrow \gamma \in \langle 45^\circ, 90^\circ \rangle \end{cases} \quad (6)$$

Funkcja grubości ostrza w dziedzinie czasu jest monotoniczna i zmierza do jedności dla długich czasów symulacji:

$$\delta(t) \xrightarrow{t=200h} 1 \text{ mm} \quad (7)$$

tj. gdy czas życia ostrza jest bliski 180-200 godzin, jego grubość lawinowo wzrasta, powodując gwałtowny spadek efektywności procesu rozdrabniania, a w efekcie potrzebę wymiany tarczy (lub ostrzenia krawędzi quasi-ścianania). Poziom zmian grubości ostrza w czasie będzie niewątpliwie zależał od jego twardości bezwzględnej oraz wzajemnej relacji pomiędzy twardością ostrza a twardością surowca – wyrażonych współczynnikiem $K_{HB_n/s}$. Wykorzystując wiedzę eksperta, określono trzy możliwe scenariusze opisujące relację między twardością materiałów:

- twardość ostrza (n) jest 10-krotnie większa od surowca rozdrabnianego (s)
 $K_{HB_n/s} \gg 10$
- twardość narzędzia rozdrabniającego ($Tw_{narzedzia}$) jest 3-krotnie większa od twardości surowca rozdrabnianego ($Tw_{surowca}$)
- twardość narzędzia rozdrabniającego ($Tw_{narzedzia}$) jest 1,5-raza większa od twardości surowca rozdrabnianego ($Tw_{surowca}$)

Zależności funkcyjne obrazujące zmianę grubości ostrza w czasie $\delta(t)$ dla przedstawionych scenariuszy (I, II, III) zostały przedstawione na Rys.2.

Rys. 2. Zmiana grubości ostrza jako funkcja twardości materiału i narzędzia

Interpretacja wykresu (Rys. 2) jest następująca: im twardsze ostrze, tym wolniejszym przyrostem charakteryzuje się funkcja grubości ostrza (przypadek I). Gdy twardości materiałów oddziałujących na siebie wzajemnie w procesie cięcia są bardzo zbliżone (krzywa II), krzywa III pokazuje, że grubość ostrza rośnie znacznie szybciej.

Rozwiązanie informatyczne

Obszarem rozwiązania, modernizującego komputerowe wspomaganie odnowy genetycznej konstrukcji rozdrabniaczy wielotarczowych w warunkach telefonu

komórkowego (telefoniczne wspomaganie koncipowania konstrukcji (TAAD)) było m.in. zaprojektowanie i wykonanie [3]:

- interfejsu użytkownika,
- menu, z poziomu którego będzie można, m.in.: określić kryteria optymalne, skonfigurować parametry algorytmu genetycznego, skonfigurować parametry maszyny, procesu, materiału,
- podprogramu zapisującego na serwer lub do pliku otrzymane wyniki z przeprowadzonej optymalizacji,
- podprogramu Midletu wyświetlającego wyniki przeprowadzanych obliczeń wraz z ilustracją graficzną w postaci wykresów.

Midlet został testowany na emulatorze J2ME Wireless Toolkit. Narzędzie to zawiera większość funkcji sterowania aplikacją zwaną Midletem, które odpowiadają innym telefonom komórkowym. W związku z tym, że emulator J2ME Wireless Toolkit współpracuje z narzędziem do edycji kodu źródłowego i zawiera szereg dodatkowych możliwości (tworzenie plików *.jad i *.jar), stąd na nim testowano aplikację.

Jak większość aplikacji w telefonach komórkowych, tak i ten Midlet zawiera początkowy obraz z tytułem programu, listę dostępnych funkcji w postaci listy z ikonami w menu głównym (rys.3 i rys.4).

Rys.3. Ekran telefonu z tytułem programu wspomaganie konstrukcji rozdrabniaczy wielotarczowych TAAD-IE

Rys.4. Ekran telefonu z ustawieniem opcji realizacji wspomaganie TAAD-IE [3]

Po Midlecie porusza się, używając klawiszy opisanych jako: SELECT, BACK, OK, Menu, CLEAR oraz strzałek góra/dół na panelu telefonu:

- SELECT – znajduje się na panelu telefonu komórkowego; służy do potwierdzania wyboru funkcji w menu podręcznym,
- BACK – klawisz przypisany programowo, służy do powrotu z aktualnego obrazu do poprzedniej listy wyboru funkcji,

- OK – klawisz przypisany programowo, służy do potwierdzania wpisanych danych w pola danych oraz do zatwierdzania wyboru odpowiedniej funkcji spośród innych w liście wyboru,
- Menu – klawisz przypisany programowo, służy do otwierania menu podręcznego z możliwością wyboru dodatkowych funkcji, np. ustawień domyślnych,
- Strzałki góra/dół – znajdują się na panelu telefonu komórkowego; służą do „poruszania” się po opcjach w menu głównym, jak i w menu podręcznym, a także do „poruszania” się w polach danych,
- CLEAR – klawisz znajduje się na panelu telefonu komórkowego; służy do czyszczenia pola wpisywania danych.

Prooptymalne koncypowanie genetyczne

Głównym celem Midletu jest wspomaganie konstrukcji rozdrabniaczy wielotarczowych z zastosowaniem standardowego algorytmu genetycznego (AG, GA w języku angielskim) [2]. Nie wykorzystano jednak gotowych pakietów GA. Napisano własną klasę Genetico, która w pełni realizuje działania optymalizacyjne w programie [3]. Po wyborze opcji START PROGRAMU pojawia się ekran z możliwością wyboru czterech funkcji: O Programie, Wspomaganie, Dane, Wykres (Rys.4). Użytkownik ma możliwość wyboru jednej z opcji:

- O Programie - informacje dotyczące programu,
- Wspomaganie - możliwość konfiguracji danych związanych z algorytmem genetycznym i aktywacji procesu wspomagania obliczeń,
- Dane – wybór jednej z trzech opcji zmiennych inżynierii rozdrabniania (Materiał, Maszyna i Proces) i na uzupełnianie pól danymi, wśród opcji menu podręcznego znajduje się możliwość wyboru ustawień domyślnych,
- Wyniki - prezentacja wartości liczbowych z wynikami obliczeń,
- Wykres – opcja ta zawiera menu niższego rzędu Pokaż, po wyborze której pojawia się ekran z wykresem prezentującym dane wpisane przez użytkownika w opcji „Dane”; możliwa jest prezentacja kilku parametrów dostępnych w menu podręcznym,
- Rozwiązanie zadania – cechy konstrukcyjne prooptymalnej koncepcji konstrukcji.

Midlet zawiera interfejs użytkownika utworzony za pomocą interfejsu programistycznego - API - niskiego poziomu, jak i API wysokiego poziomu.

W Midlecie dwukrotnie odwołano się do API niskiego poziomu. Pierwszy raz w momencie tworzenia ekranu początkowego, który został zaprezentowany na rysunku 3. Drugie odwołanie do API niskiego poziomu nastąpiło w momencie tworzenia wykresów prezentujących wyniki graficznie (Rys.5).

Rys.5. Prezentacja graficzna wyników badań w programie TAAD-IE [3]

Prezentacja jest wywoływana z jednym argumentem, który jest obiektem innej klasy niskopoziomowego API – Graphics. Klasa ta dostarcza środków, które pozwalają na rysowanie linii, prostokątów i łuków, obszarów wypełnionych kolorem, a także na odtwarzanie tekstu na ekranie urządzenia.

Rozwiązanie suboptymalne konstrukcji

Na Rys.6 przedstawiono wyniki uzyskane podczas pracy z programem TELE-TEST-10_GRAN uruchomionym na emulatorze komputera klasy PC. Celem optymalizacji są wszystkie parametry pakietu roboczego, dlatego w menu „Parametry alg. gen.” wszystkie elementy zostały zaznaczone.

Admissible set	<i>LT</i>	<i>LO</i>	<i>LR</i>	<i>PK</i>	<i>PR</i>	<i>PLOT</i>	<i>PLOR</i>	<i>PPMT</i>	<i>PPMR</i>	<i>GPK</i>	<i>ST</i>
	-	-	-	<i>rad/s</i>	<i>m</i>	-	-	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>rad/s</i>	<i>m</i>
Competitive design	10	2	1	22,8	0,088	1	5	0,0053	0,0231	1,6	1,37

Rys.6. Rozwiązanie suboptymalne dla zespołu składającego się z 10 tarcz

Obliczenia zostały wykonane w czasie 55 minut. Należy jednak mieć na uwadze, że moc obliczeniowa procesorów montowanych w telefonach komórkowych jest co najmniej kilkanaście razy mniejsza, dlatego czas uzyskania wyniku końcowego może być również o wiele dłuższy.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki pokazują, że rozwiązania koncepcyjne - uzyskane ze wspomaganie algorytmem genetycznym - charakteryzują się dużą stabilnością przekroju rozdrabniania, wysoką efektywnością energetyczną przetwórstwa i równomiernością działania; co było celem zastosowania tego typu algorytmów. Dokładna analiza skuteczności algorytmów genetycznych zastosowanych w procesie wspomaganie (klasyfikacja wyniku) wymaga prowadzenia eksperckiej weryfikacji i systematycznych badań inżynierskich – antycypujących budowę prototypu i serii konstrukcyjnej rozdrabniaczy.

LITERATURA

1. Goldberg D.E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. WNT 2003.
2. A.Al.-Zubiedy, J. Flizikowski: Inż. i Aparat. Chem. 42, nr 3, (34) 2003.
3. Flizikowski J.B. i Zespół: Projekt implementacji inteligentnego systemu (programu) wspomaganie konstrukcji młynów szczególnie wielotarczowych. Grant KBN ATR-AGH, Bydgoszcz, Kraków 2003.
4. Flizikowski J.B.: Globalny algorytm innowacji maszyn. Wyd. BTN, tom 37, ss.40, Bydgoszcz, 2006.