

Jan Barwicki

Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa w Warszawie

Wacław Romaniuk

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie

Instytut Inżynierii Rolniczej

Akademia Rolnicza w Szczecinie

TEORETYCZNE ASPEKTY PRZEBIEGU PROCESU TRANSPORTU MATERIAŁÓW ROLNICZYCH ZA POMOCĄ PRZENOŚNIKÓW ŚRUBOWYCH

Streszczenie

Transport materiałów rolniczych przy wykorzystaniu przenośników śrubowych jest bardzo popularny zarówno w przemyśle rolniczym, gospodarstwach wiejskich, jak i maszynach rolniczych. Celem niniejszego opracowania było przygotowanie narzędzia optymalizacyjnego do doskonalenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych przenośników śrubowych oraz poprawy wydajności i energochłonności pracy istniejących konstrukcji.

Słowa kluczowe: przenośniki śrubowe, transport, optymalizacja, materiały rolnicze, parametry, wydajność, zapotrzebowanie energii

Wstęp

Materiały sypkie i rozdrobnione materiały objętościowe bardzo często transportowane są za pomocą przenośników śrubowych zarówno w zakładach produkcyjnych jak również bezpośrednio w gospodarstwach rolnych Romaniuk [1996]. Ponadto wiele maszyn i urządzeń rolniczych jak kombajny, mieszalnice pasz, mają przenośniki śrubowe, które często należą do ich podstawowych zespołów roboczych i wywierają duży wpływ na energochłonność Szeptycki i in. [2003]. Samodzielne przenośniki śrubowe mogą pracować jako urządzenia stacjonarne lub mogą stanowić rozwiązania mobilne. Jako urządzenia stacjonarne mogą być między innymi wykorzystywane do zadawania pasz pełnodawkowych dla zwierząt do bezpośredniego skarmiania oraz pracują też w przemyśle spożywczym. Przenośniki śrubowe mogą również pracować jako dozowniki komponentów w różnego typu mieszalnicach pasz oraz zaprawiarkach do nasion przygotowywanych do siewu.

Celem opracowania było wykorzystanie teorii działania przenośników śrubowych do optymalizacji konstrukcji tych urządzeń przy wykorzystaniu symulacji komputerowej.

Oznaczenia

- Ce – szczelina pomiędzy wałem śrubowym a rynną transportową, m
Cs – masa stali, $t \cdot m^{-3}$
D – średnica zewnętrzna śruby, m
D_{ce} – wielkość szczeliny pomiędzy zewnętrzną krawędzią śruby a obudową, m
D_h – średnica wału śruby, m
k – współczynnik uwzględniający kąt pochylenia przenośnika śrubowego od 1 dla pracy poziomej do 0,46 do pracy pionowej [Barwicki 1992]
L – długość przenośnika, m
N – moc, kW
P – skok śruby, m
S – siła potrzebna do przesuwania materiału wzdłuż osi przenośnika, N
T – moment na wale śrubowym przenośnika, Nm
t_f – czynna wielkość spirali przenośnika, m
t_h – grubość ścianki rury wału śrubowego przenośnika, m
q – jednostkowe obciążenie przenośnika, $N \cdot m^{-1}$
Q – wydajność pracy, $m^3 \cdot h^{-1}$
V – prędkość przesuwu materiału, $m \cdot s^{-1}$
W – całkowita masa wału przenośnika śrubowego, t
X – zmienny parametr optymalizacyjny konstrukcji przenośnika śrubowego
μ – współczynnik oporów ruchu materiału od 1,15 dla materiałów drobnoziarnistych do 4 dla cząstek o wielkości do 3 cm [Barwicki 1992]
α – kąt pochylenia przenośnika [stopnie]
γ – ciężar usypowy, $N \cdot m^{-3}$
ω – prędkość kątowna wału śrubowego, $rad \cdot s^{-1}$
Φ – napełnienia rynny współczynnik od 0 do 1
ζ – masa usypowa, $t \cdot m^{-3}$

Prace nad teorią procesu transportu materiałów przenośnikami śrubowymi

Mclean i Arnold [2004] dokonali bezwymiarowego opisu teoretycznego przebiegu procesu transportu materiałów sypkich przy wykorzystaniu przenośników śrubowych, nie dokonując jednak weryfikacji założeń teoretycznych w warunkach rzeczywistych.

Merrit i Mair [2008] opracowali teoretyczny model przebiegu procesu drażnienia tuneli ziemnych przy wykorzystaniu przenośników śrubowych pracujących w obudowie rurowej. W swoich rozważaniach uwzględnili oni następujące parametry: nacisk gruntu na śrubę, moment obrotowy na wale przenośnika, obciążenie wału śrubowego przenośnika na ścinanie oraz proces przepływu materiału w rurze przenośnika śrubowego. Merrit i Mair [2008] opracowali teorię przebiegu procesu skrawania i transportu gleby w sposób bezwymiarowy, uznając, że taki ich model będzie bardziej wszechstronny w zastosowaniu. Dla uzyskania rzeczywistych danych wartości parametrów

wymienionych powyżej, przeprowadzili oni testy polowe wykonując szereg tuneli podziemnych na glebach gliniastych o różnej wilgotności oraz zwięzłości podłoża. Wymienieni autorzy uważają, że ich teoria może być wykorzystywana w badaniach nad innymi przenośnikami śrubowymi np. ekstruderaми w przemyśle spożywczym i tworzyw sztucznych.

Barwicki [1992] wykonał w Zakładzie Inżynierii Procesowej Silsoe Research Institute Anglia badania laboratoryjne dotyczące wykorzystania elementów śrubowych do transportu i mieszania różnych materiałów rolniczych (niepublikowane). Romaniuk i in. [2002] badał w IBMER energochłonność pracy przenośników śrubowych do transportu i mieszania pasz sypkich i objętościowych oraz do transportu i mieszania gnojowicy.

Matematyczny opis procesu transportu materiałów rolnych przenośnikami śrubowymi

W obliczeniach inżynierskich prędkość przesuwu materiału w rynnie transportowej lub w skrzyni ładunkowej wozu paszowego wynosi wg Handbook CEMA [2006]:

$$V = \frac{P \times \omega}{2 \pi} \quad (1)$$

Natomiast wydajność transportową przenośnika śrubowego można przedstawić wzorem wg Handbook SCE-05 [2005]:

$$Q = 450[(D + 2 C_e)^2 - D_h^2] P \omega \Phi \zeta k \quad (2)$$

Siła potrzebna do przesuwu materiału wzdłuż osi przenośnika śrubowego wynosi wg Handbook CEMA [2006]:

$$S = q L (\mu \pm \sin \alpha) \quad (3)$$

Natomiast moc potrzebna do napędu przenośnika śrubowego wyniesie wg Handbook CEMA [2006]:

$$N = \frac{Q \gamma L}{3,6 \cdot 10^6} (\mu \pm \sin \alpha) \quad (4)$$

Zapotrzebowanie na energię przenośnika śrubowego wg Mclean i Arnold [2004] zależne jest od parametru jak poniżej:

$$X = [D_h, t_h]^T \quad (5)$$

Pozostałe parametry optymalizacyjne przenośnika śrubowego wg tych badaczy muszą przyjmować wartości minimalne:

$$F(X) = \frac{W(X)}{10^4} + \frac{\Delta(X)}{C_e} \quad (6)$$

przy czym:

$$W(X) = 2\pi C_s t_h (D_h - t_h)L + \frac{C_s (D - D_h) t_f L}{4} \cdot [\sqrt{(1 + \pi^2)} + \sqrt{(1 + \{\frac{\pi D_h}{D}\}^2)}] \quad (7)$$

oraz:

$$Q(X) = \frac{\pi}{4} [(D + C_e)^2 - D_h^2] (D - t_f) \quad (8)$$

Przy czym zależności te muszą spełniać następujące warunki brzegowe:

$$\frac{D}{\pi} < D_h < D - D_{ce} \quad (9)$$

$$\frac{\Delta(X)}{L} < \frac{1}{360} \quad (10)$$

$$\Delta(X) < C_e \quad (11)$$

Powyższe zależności przyjęto jako model matematyczny do optymalizacji konstrukcji przenośników śrubowych.

Podsumowanie

Przedstawiona skrótowo analiza teoretyczna procesów zachodzących w trakcie transportu materiałów rolnych przenośnikami śrubowymi, dała podstawy do opracowania modelu matematycznego przebiegu tego procesu.

Po weryfikacji modelu i wykorzystaniu symulacji komputerowych będzie możliwe doskonalenie istniejących konstrukcji przenośników śrubowych oraz projektowanie ich nowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Wnioski

1. Na wydajność pracy przenośników śrubowych znaczący wpływ mają następujące parametry: szczelina pomiędzy wałem śrubowym a rynną transportową, średnica zewnętrzna śruby, średnica wału śruby, czynna wielkość spirali przenośnika.

2. Na moc potrzebną do napędu przenośnika śrubowego decydujący wpływ mają następujące parametry: wydajność pracy przenośnika, długość przenośnika, kąt pochylenia przenośnika, współczynnik oporów ruchu materiału transportowanego.
3. Jednym z ważniejszych parametrów konstrukcyjnych rozpatrywanej optymalizacji konstrukcji przenośników śrubowych była całkowita masa wału śrubowego.
4. Przedstawiony model matematyczny optymalizacji konstrukcji przenośników śrubowych ma postać trzech następujących zależności:

$$\frac{D}{\pi} < D_h < D - D_{ce},$$

$$\frac{\Delta(X)}{L} < \frac{1}{360},$$

$$\Delta(X) < C_e.$$

Bibliografia

Barwicki J., Phillips V.R., Stafford J.V. 1990. Methods for determining the end points of processes for mixing agricultural and food materials: A literature review and some concepts for the future. DN. 1569. Silsoe Research Institute. Wrest Park, Silsoe, Bedford, 41 pp

Barwicki J. 1992. Energy requirement for flow and mixing of agricultural materials using screw elements (unpublished). Silsoe Research Institute. Wrest Park, Silsoe, Bedford, 32 pp

Barwicki J. 1993. Energochłonność procesu mieszania pasz objętościowych z paszami sypkimi w wozach paszowych. Praca doktorska. IBMER, Warszawa

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA) Handbook: Screw conveyors. 2006

Dmitrewski J. 1978. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Tom III. PWRiL Handbook of screw conveyor engineering data publication SCE-05. 2005. Christian Engineering San Francisco

Mclean A.G., Arnold P.C.: Screw conveyor design. 2004. Powder handling and processing. Vol. 3, nr 4, London

Merritt A.S., Mair R.J. 2008. Mechanics of tunneling machine screw conveyors: a theoretical model. Vol. 58, nr 2, pp. 79-94, London

Romaniuk W. 1996. Wpływ funkcjonalno-technologicznych rozwiązań obór na energochłonność i koszty produkcji mleka w gospodarstwach rodzinnych. Rozprawa habilitacyjna. Prace Naukowo Badawcze IBMER, Warszawa

Romaniuk W. i in. 2002. Energochłonność pracy przenośników śrubowych podczas transportu i mieszania pasz sypkich i objętościowych oraz gnojowicy (niepublikowane). IBMER, Warszawa

Szeptycki A., Wójcicki Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. IBMER, Warszawa