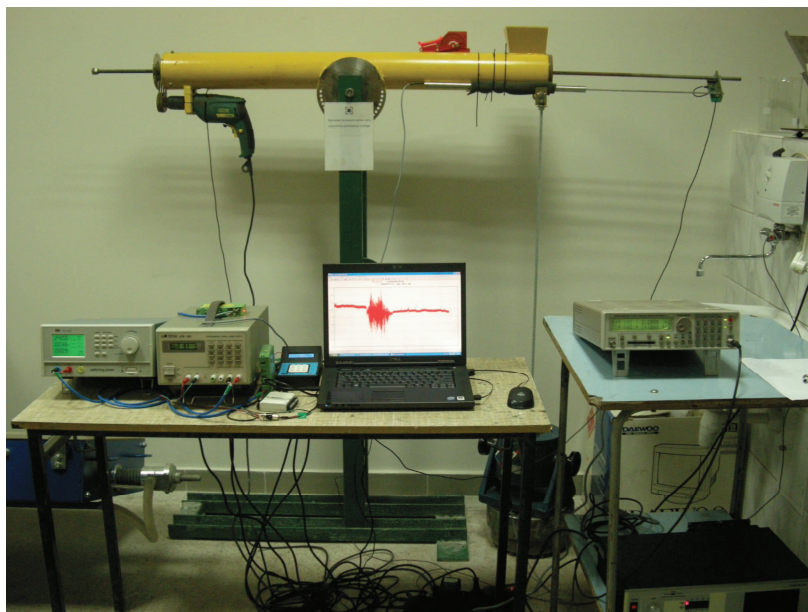


Michał PRĄCIK, Kazimierz FURMANIK

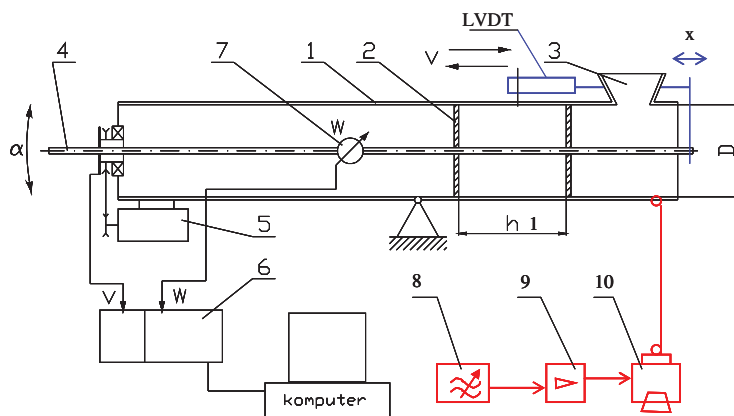
Politechnika Krakowska, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków,
Akademia Górniczo-Hutnicza al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
E-mail: fukaz@agh.edu.pl , mp@sparc2.mech.pk.edu.pl

Symulacja dekompozycji procesów dynamicznych w przenośniku rurowym

1 Wstęp. Obiekt badań doświadczalnych, modelowania i symulacji
Przedmiotem identyfikacyjnych badań doświadczalnych był dla autorów pracy model fizyczny przenośnika [3], przedstawionego na fot.1 a schematycznie na rys.2. Cechą charakterystyczną jego konstrukcji jest wykorzystanie do przesuwu wewnętrznych talerzyków-zgrzebeł przekładni śrubowej, napędzanej poprzez nakrętkę i przekładnię pasową z silnika elektrycznego wiertarki. Pomiarom podlegały przemieszczenia talerzyków mierzone w kierunku osi rury przenośnika oraz przebieg siły napięcia, mierzonej czujnikiem siły umieszczonym w śrubie. Pomiaru dokonywane były w trakcie procesu ciągnięcia lub przepychania nosiwa w rurze (- granulat tworzywa albo stalowe kulki łożyskowe). Wymuszano też wahadłowo-poprzeczne drgania rury wykorzystując wzbudnik elektrodynamiczny.



Rys.1. Stanowisko badań doświadczalnych modelu przenośnika zgrzeblowego rurowego
Fig. 1. Experimental facility for scraper pipe conveyor model



α - zmienny kąt nachylenia

- | | | |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 1 - rura przenośnika | 5 - silnik elektryczny napędu | 8 - generator arbitralny |
| 2 - zgrzebło talerzowe | 6 - moduł akwizycji danych | 9 - wzmacniacz mocy |
| 3 - otwór zasypowy | z pomiarów siły W i prędkości v | 10 - wzbudnik elektrodyn. |
| 4 - śruba napędowa | 7 - przetwornik siły | 11 - pręt z przegubami |

Rys. 2. Schemat stanowiska do badań modelu fizycznego przenośnika

Fig. 2. Scheme of the experimental facility of scraper pipe conveyor model

2 Cel i zakres badań doświadczalnych

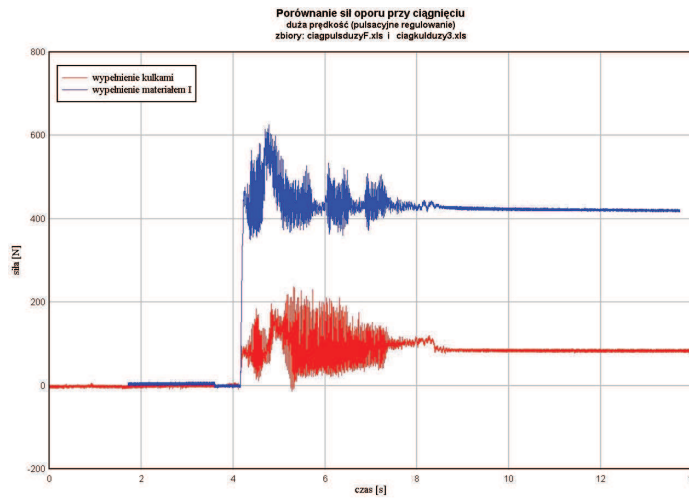
Głównym celem pracy, stawianym przez autorów było wskazanie możliwości ulepszenia konstrukcji przenośnika z uwagi na energochłonność. Celami cząstkowymi były: określenie zależności opisującej opory tarcia nosiwa oraz dobór i realizacja sterowań układami aktywnymi wymuszenia drgań, obniżających opory ruchu przenośnika. Z podanymi celami cząstkowymi korespondował plan przeprowadzonych badań doświadczalnych. Ogólnie, zakres badań eksperymentalnych obejmował:

- porównanie oporów przy ciągnięciu albo przepychaniu nosiwa w dwóch różnych postaciach, przy różnych prędkościach, z wymuszeniem albo bez drgań poprzecznych rury modelu przenośnika,
- porównanie różnych estymat mocy przy ciągnięciu albo przepychaniu nosiwa, przy różnych prędkościach, z wymuszeniem albo bez - drgań poprzecznych rury modelu przenośnika.

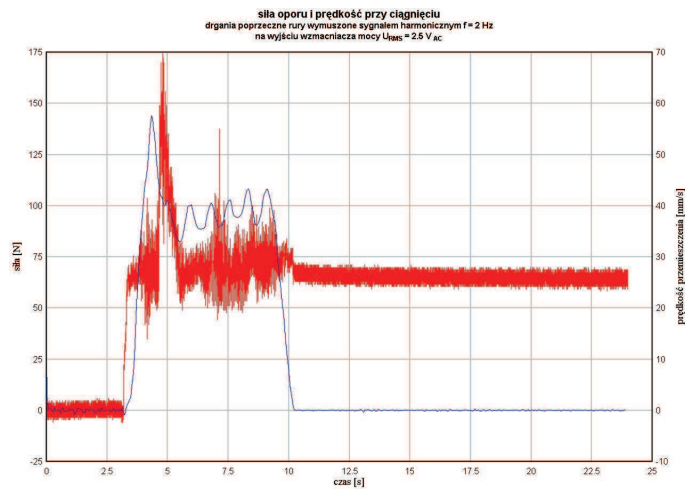
Wielkościami rejestrowanymi za pomocą czujników zaznaczonych na schemacie stanowiska rys.2 były: przebieg zmienności sił wzdłużnych naciągu w śrubie przenośnika i przemieszczenie jej końca, wraz z talerzykami. Obliczeń chwilowej prędkości przesuwu śruby dokonywano numerycznie, stosując różne uśrednianie (decymacje) przebiegu przemieszczeń, w celu wygładzenia przebiegu prędkości, przy minimalizacji wpływu na jakość amplitud p-p prędkości. Sygnał analogowy z czujnika przemieszczenia (LVDT), wymagał filtracji dolnoprzepustowej filtrem

antyaliasingowym zanim został doprowadzony do karty przetwornika A/C typu NI – USB 6009. Do innego kanału, tej samej karty doprowadzany był sygnał ze wzmacniacza – kondycjonera czujnika siły. Stosowano próbkowanie wymienionych sygnałów z częstotliwością 1 kHz.

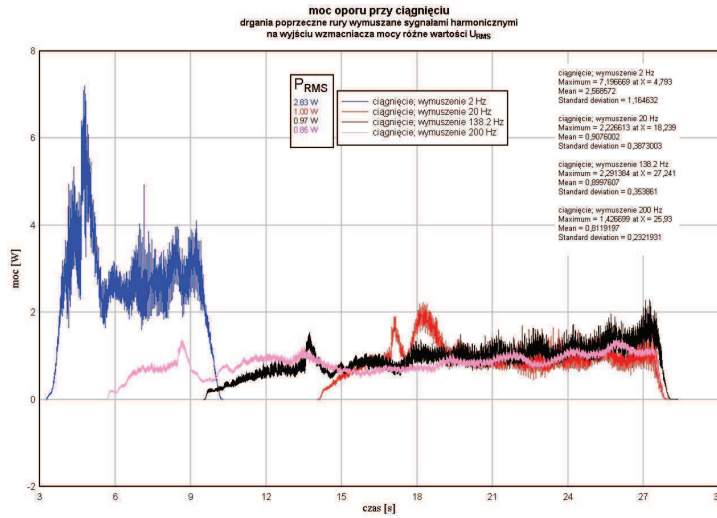
Charakter przykładowych przebiegów przedstawiono na rys.3, 4, 5 i 6.



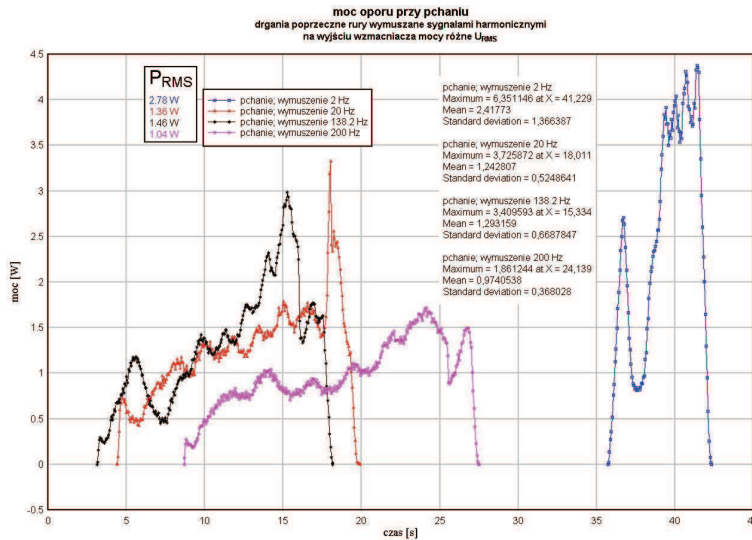
Rys. 3. Porównanie sił oporu przy ciągnięciu i różnych materiałach wypełnienia
Fig. 3. Comparison of pulling resistance forces by different materials content



Rys. 4. Siła oporu i prędkość przy ciągnięciu i drganiach wymuszonych rury
Fig. 4. Pulling resistance force and velocity at scraper pipe under excited vibration



Rys. 5. Porównanie mocy oporu przy ciągnięciu i różnych wymuszeniach
Fig. 5. Comparison of pulling resistance power by different excitations

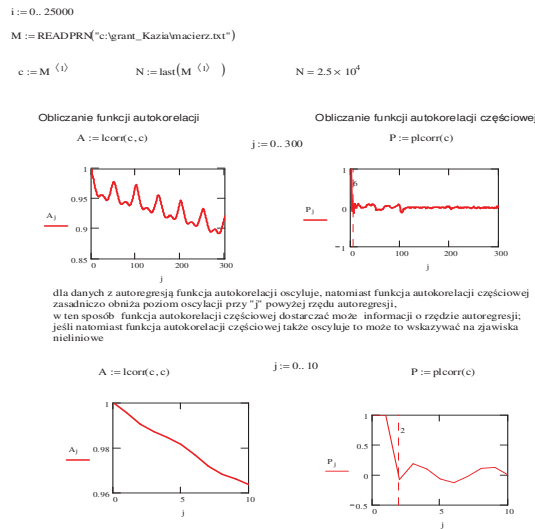


Rys. 6. Porównanie mocy oporu przy pchaniu i różnych wymuszeniach
Fig. 6. Comparison of pushing resistance power by different excitations

3 Badania symulacyjne

Wyniki - w postaci przebiegów zmienności przemieszczeń i sił uzyskane z badań doświadczalnych mogą być wykorzystane do estymacji parametrów przyjętych modeli symulacyjnych analizowanego układu. Zarejestrowane sygnały pomiarowe sił oporów i prędkości przemieszczeń odzwierciedlają jednak zarówno dynamikę konstrukcji modelu przenośnika jak i procesów związanych z przemieszczaniem nosiwa. Wymaganą dekompozycję procesów dynamicznych przeprowadzić można różnymi metodami. Opis „narzędzi” wykorzystywanych w tych metodach jest dostępny zarówno w pracach z zakresu teorii identyfikacji procesów i systemów [4], [5], jak i w pracach dotyczących sterowania [2], a w ścisłym odniesieniu do przetwarzania danych pomiarowych - w literaturze traktującej o teorii sygnałów i szeregów czasowych [1].

Wychodząc np. z założenia, że zebrane dane pomiarowe w postaci szeregu czasowego przedstawiają proces stochastyczny, bazując na twierdzeniu Walda można wydzielić część czysto deterministyczną od losowej a dalej nakładając operacje autokorelacji i autokorelacji częściowej określić rząd modelu autoregresyjnego i oscylacje – rys.7.



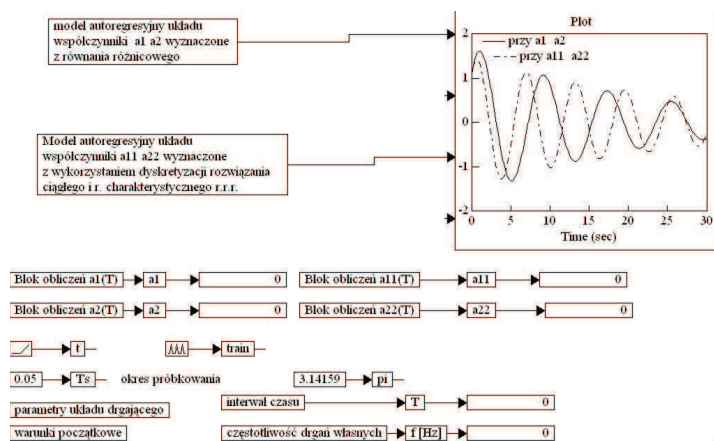
Rys. 7. Przykład określania rzędu modelu autoregresyjnego z wykorzystaniem funkcji autokorelacji i autokorelacji częściowej do danych pomiarowych

Fig. 7. An example of autoregressive model order determination utilizing autocorrelation and partial autocorrelation to experimental data

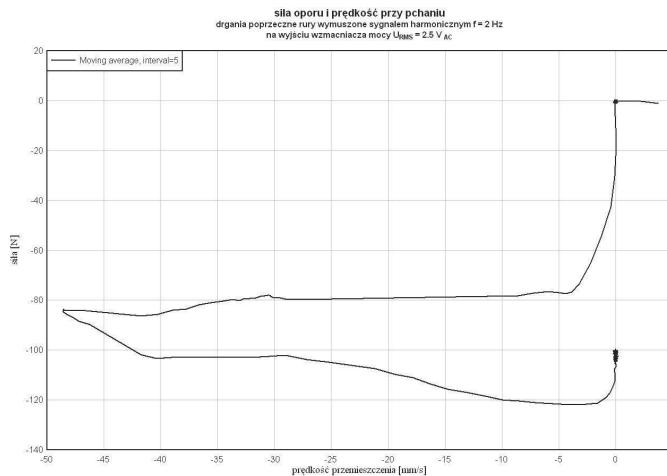
Z kolei przy założeniu addytywnego albo multiplikatywnego modelu ciągu czasowego można dokonać wyodrębnienia trzech składowych: trendu, okresu i cyklu a następnie sformułować reguły prognozowania dalszych składowych szeregu [1]. Wiążąc wyodrębniony okres głównie z dynamiką konstrukcji modelu przenośnika (odpowiedź elementów sprężystych na wymuszenie kinematyczne – rys.8) a trend i cykl z procesami przemieszczania nosiwa (opory tarcia zewnętrznego i wewnętrznego)

można w wyniku dekompozycji uzyskać np. fenomenologiczną postać charakterystyki oporów tarcia (przykład - rys. 9).

Prezentacja przykładowych rezultatów zastosowania wymienionych wyżej metod dekompozycji, wspomaganých programami numerycznymi i symulacyjnymi, napisanymi w konwencji pakietów: Mathcad [7], VisSim & Analyze [8] i DPlot [6] została przedstawiona na rysunkach rys.7, rys.8 i rys.9.



Rys. 8. Przykład symulacji odpowiedzi modelu autoregresyjnego rzędu II
 Fig. 8. An example of response simulation of the 2-nd order autoregressive model



Rys. 9. Przykładowy wynik dekompozycji procesów - charakterystyka opisująca opory ruchu nosiwa w rurze przenośnika
 Fig. 9. Exemplary result of processes decomposition – relation describing the motion resistance of granular medium inside of scraper's pipe

4 Uwagi końcowe

- W pracy analizowano i ukazano cel stosowania metod dekompozycji bazujących na danych pomiarowych.
- Przetestowano przydatność różnych metod dekompozycji sygnałów pomiarowych na przykładzie separacji funkcji określających dynamikę konstrukcji modelu przenośnika zgrzeblowego rurowego i opory ruchu nosiwa w rurze przenośnika.
- W rozważanym zagadnieniu identyfikacji doświadczalnej parametrycznej wykazano przydatność symulacji komputerowej zarówno przy określaniu rzędu modelu jak i jego parametrów, przy założonej strukturze.
- Rezultaty identyfikacyjnych badań doświadczalnych modelu przenośnika pozwoliły ujawnić wpływ wymuszonych drgań poprzecznych rury przenośnika na ograniczenie mocy potrzebnej do pokonania oporów tarcia w trakcie eksploatacji przenośnika. Zebrane dane umożliwiają dalszą syntezę układu optymalnego sterowania tymi drganiami, przeprowadzaną symulacyjnie na modelu wirtualnym.

Literatura

1. Bielińska E.: *Prognozowanie ciągów czasowych*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007
2. Bubnicki Z.: *Identyfikacja obiektów sterowania*. PWN, Warszawa, 1994
3. Furmanik K., Prącik M.: *Modelowanie dynamiki przenośnika zgrzeblowego rurowego*. Symulacja w Badaniach i Rozwoju, red. L. Bobrowski, A. Grzyb, PTSK, Instytut Pojazdów Szyn. Politechniki Krakowskiej, McLeod Institute, Kraków 2008
4. Kasprzyk J.red.: *Identyfikacja procesów*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002
5. Soderstrom T., Stoica P.: *Identyfikacja systemów*. PWN, Warszawa, 1997
6. *DPlot*. HydeSoft Computing LLC. Vicksburg. USA, 2008
7. *Mathcad*. Parametric Technology Corporation, 2006
8. *Professional VisSim & Analyze*, Visual Solution, Inc. Westford ser. No. 8052

Streszczenie

W artykule przedstawione są wyniki badań doświadczalnych, symulacyjnych i analiz teoretycznych dotyczących ruchu i mocy w modelu przenośnika rurowego. Dokonuje się dekompozycji procesów dynamicznych zachodzących przy pracy konstrukcji, w celu ujawnienia związków fenomenologicznych opisujących opory nadawy. Określa się rząd i parametry modelu autoregresyjnego odpowiadającego dynamice konstrukcji fizycznego modelu przenośnika.

Simulation of dynamical processes decomposition in scraper pipe conveyors

Summary

In the paper the results of theoretical and numerical simulations and experimental investigations of motion and power of scraper pipe conveyor model are presented. Decomposition of dynamical processes that appear during conveyor work is adapted in order to disclose the relation describing the motion resistance of granular medium inside of scraper's pipe. There are determined the order and parameters of autoregressive model corresponding with dynamics of physical structure of the conveyor model.