

Jerzy MARGIELEWICZ¹

WPLYW DRGAŃ MECHANICZNYCH WZBUDZANYCH PODCZAS TRANSPORTU ŁADUNKU NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki symulacji komputerowych oddziaływań dynamicznych suwnicy pomostowej na operatora. Obciążenia dynamiczne oddziałujące na operatora suwnicy wywołane są transportem ładunku. W symulacjach komputerowych założono stałą długość cięgna, ponadto w badaniach uwzględniono podatność cięgien oraz bezwładność transportowanego ładunku. Wyniki symulacji komputerowych przedstawiono w postaci przebiegów czasowych oraz charakterystyk dynamicznych, które wygenerowano wykorzystując w tym celu szybkie przekształcenie Fouriera (FFT). Otrzymane wyniki w przyszłych pracach będą wykorzystane do sformułowania aktywnego układu wibroizolacji.

INFLUENCE OF MECHANICAL VIBRATIONS MOVED DURING THE TRANSPORT OF THE LOAD ON THE HUMAN BODY

Summary. Results of research of numerical dynamic influences of the bridge crane on the operator were presented at work. Dynamic workload influencing the operator of the crane are called with transport of the load. Susceptibility of the rope and inertia of the transported load, were taken into consideration moreover in research the fixed length of the rope was assumed in computer simulations. Results of computer simulations were presented in the form of time plots and dynamic characteristics which were generated utilizing Fourier's Fast Transformation (FFT). They will be taken advantage by results placed at work to the formulation of the active system of isolation of mechanical oscillations.

1. WPROWADZENIE

Współczesne suwnice pomostowe charakteryzują się prostą oraz modułową konstrukcją, dzięki czemu wszelakie naprawy, remonty, modernizację można przeprowadzić stosunkowo szybko. Projektowanie nowoczesnych suwnic przeprowadza się zwykle w dwóch etapach. Pierwszy etap konstruowania polega na przeprowadzeniu obliczeń wstępnych, na podstawie których określa się gabaryty elementów składowych. W drugim etapie konstruowania dokonuje się obliczeń sprawdzających, które to obliczenia weryfikują wymiary oraz kształty elementów składowych w taki sposób, by uzyskać żądaną wytrzymałość maszyny [4]. W celu przeprowadzenia obliczeń sprawdzających niezbędna jest znajomość wartości oraz charakteru obciążeń dynamicznych oddziałujących na maszynę oraz jej obsługę. Zmienne obciążenia dynamiczne wzbudzone w maszynach roboczych są przyczyną powstawania drgań mechanicznych, które najczęściej spowodowane są przez:

¹ Katedra Modelowania Procesów i Inżynierii Medycznej, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, j.margielewicz@chello.pl

- zmienny ciężar ładunku,
- zmienne położenie transportowanego ładunku,
- ruch przerywany mechanizmów wykonawczych,
- równoczesne działanie wielu układów napędowych.

Drgania mechaniczne występujące w maszynach niekorzystnie wpływają na działanie samej maszyny, ponadto są źródłem chorób, którym ulegają operatorzy. U ludzi przebywających w środowisku wibracyjnym obserwowane są zaburzenia czynności organów wewnętrznych oraz ośrodka nerwowego, które przejawiają się obniżeniem sprawności podczas wykonywania pracy. Podstawowymi wielkościami charakteryzującymi procesy drganiowe, które służą do oceny wpływu drgań mechanicznych na organizm człowieka, są [7]:

- wielkość przyspieszenia,
- częstotliwość drgań,
- kierunek działania obciążenia dynamicznego.

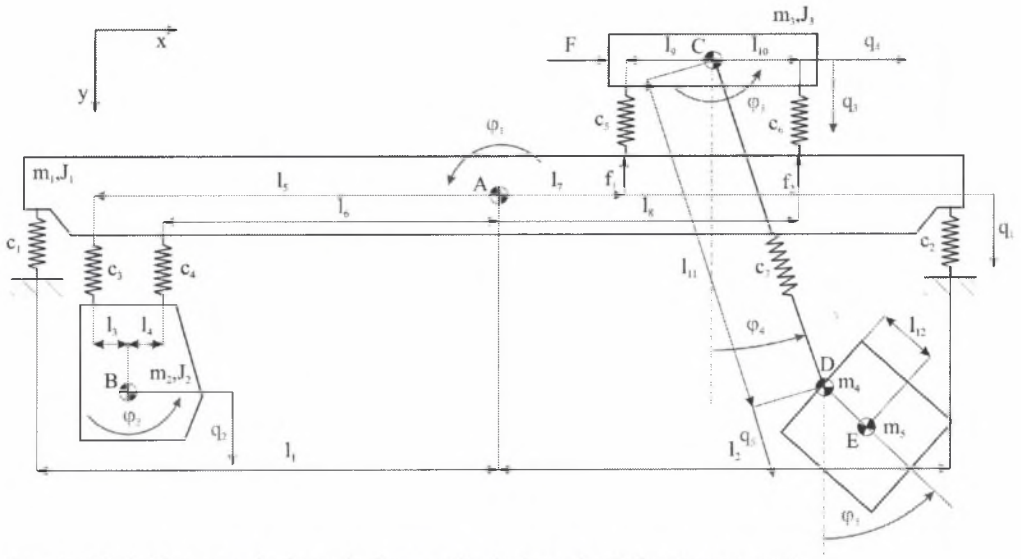
Zrozumienie reakcji organizmu na zadane wymuszenie dynamiczne, które spowodowane jest działaniem mechanizmów wykonawczych maszyny roboczej, ułatwiają opracowane modele fenomenologiczne [1, 3, 7]. Z tego też względu badając nowo projektowane maszyny, jeszcze w fazie projektowania, należy każdorazowo określić wartość obciążeń przenoszonych na obsługę. Niezbędne informacje dotyczące wartości oraz charakteru obciążenia dynamicznego można uzyskać przeprowadzając symulacje komputerowe. Badanie nowo projektowanych maszyn przy użyciu wirtualnych modeli jest mniej kosztowne z ekonomicznego punktu widzenia, w porównaniu do badań na obiektach rzeczywistych, a także nie naraża obsługi na działanie szkodliwego środowiska wibracyjnego.

2. MODEL SUWNICY POMOSTOWEJ

Jedną z głównych przyczyn prowadzenia badań na modelach wirtualnych jest konieczność ograniczenia oddziaływań dynamicznych przenoszonych na obsługę maszyn roboczych. W celu ograniczenia obciążeń oddziałujących na obsługę, należy w pierwszym etapie określić rodzaj i charakter przebiegu obciążenia. W drugim etapie natomiast projektuje się układ wibroizolacji. Przy formułowaniu modelu fenomenologicznego suwnicy pomostowej posłużono się zmodyfikowanym modelem zamieszczonym w pracy [2]. Ponadto podczas przeprowadzonych symulacji komputerowych uwzględniono dyskretny model operatora. Jeżeli podczas badań numerycznych uwzględnia się działanie mechanizmu jazdy suwnicy i/lub jazdy wózka, to należy przy formułowaniu modelu fenomenologicznego założyć wahnięcia ładunku. W przeważającej większości symulacji komputerowych, podczas analizy zjawisk towarzyszących wahanom ładunku zawieszono na cięgnach przyjmuje się następujące założenia upraszczające [1, 5, 6]:

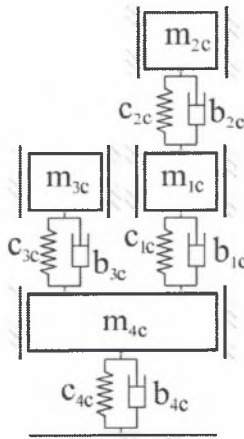
- wahnięcia ładunku traktuje się jako małe, co prowadzi do liniowego modelu matematycznego (przy dużych prędkościach jazdy przyjęcie takiego założenia nie zawsze jest prawdziwe);
- pomija się wzdłużne odkształcenie cięgna;
- transportowany ładunek traktuje się jako masę skupioną na końcu cięgna.

Powyższe założenia upraszczające sprowadzają analizę ruchu ładunku do badania zachowania powszechnie znanego z kursu mechaniki wahała matematycznego. Przyjęty w niniejszej pracy model suwnicy pomostowy pozbawiony jest tych uproszczeń (rys.1). Na rys. 1, ze względu na czytelność modelu, nie umieszczono dyskretnego modelu ciała operatora, który przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Model fenomenologiczny badanego układu (suwnica-ładunek-operator)
 Fig. 1. Phenomenological model of the analysed system

Suwnicę pomostową (rys.1) zamodelowano jako układ płaski brył sztywnych sprzężonych ze sobą elementami sprężysto-tłumiącymi. W badanym modelu założono niezmienną wysokość transportowanego ładunku. Przyjęty model można w prosty sposób zmodyfikować i uwzględnić w nim dyskretny model ciała operatora (rys.2). Charakterystyki dynamiczne organizmu człowieka poddanego drganiom mechanicznym wyznacza się w warunkach rzeczywistych oraz laboratoryjnych. Jeżeli amplitudy widma częstotliwościowego są niewielkie, to można przyjąć liniowy model ciała. Natomiast gdy amplitudy widma są duże, parametry fizyczne modelu dynamicznego człowieka należy przyjmować jako nieliniowe. Wybór modelu ciała ludzkiego uzależniony jest od szerokości spektrum amplitudowo-częstotliwościowego, które rozpatrywane jest w symulacji komputerowej. Przyjęcie modelu jednomasowego uzasadnione jest przy analizie układu, w którym zakres częstotliwości rezonansowych nie przekracza 8 Hz [7].



Rys. 2. Model fenomenologiczny operatora maszyny roboczej
 Fig. 2. Phenomenological model of the operator of the mill

Sformułowany w pracy model fenomenologiczny suwnicy pomostowej posiada czternaście stopni swobody, przy czym cztery stopnie swobody odpowiadają dyskretnemu modelowi ciała operatora (rys.2). Ruch ładunku zamodelowano jako wahadło matematyczne, pominięto masę liny ze względu na niewielki jej wpływ w stosunku do masy ładunku. Przyjęte w modelu podatności pochodzą przede wszystkim od zawieszenia wózka, mostu, kabiny oraz liny. Założono, że w trakcie ruchu długość cięgna pozostaje stała, a przemieszczenie ładunku wzdłuż osi cięgna spowodowane jest podatnością liny. Układ pobudzone do ruchu zewnętrzną siłą skupioną pochodzącą od mechanizmu jazdy wózka wciągarki. Dodatkowo założono, że na wózek wciągarki oddziałują wymuszenia kinematyczne modelujące nierówność torowiska. Równania różniczkowe ruchu analizowanego układu dynamicznego wyprowadzono przy zastosowaniu równań Lagrange'a II rodzaju:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial q_i} + \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}, \quad (1)$$

gdzie:

E - energia kinetyczna układu, R - energia dyssypacji układu, U - energia potencjalna układu,
 L - praca sił zewnętrznych na przemieszczeniach przygotowanych, \dot{q}_i - prędkości uogólnione,
 q_i - przemieszczenia uogólnione.

Tak sformułowany model fenomenologiczny suwnicy pomostowej oraz człowieka jest podstawą do przeprowadzenia symulacji komputerowej.

3. WYNIKI NUMERYCZNYCH BADAŃ WPŁYWU DRGAŃ MECHANICZNYCH UKŁADU SUWNICA-ŁADUNEK-OPERATOR NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

Sformułowany wyżej model fenomenologiczny badanego układu suwnica-ładunek-operator umożliwił przeprowadzenie badań ilościowych i jakościowych. Przyjęcie różnych parametrów geometrycznych określających zaczepienie elementów sprężystych pozwala na zbadanie wpływu położenia środka masy wózka wciągarki oraz kabiny na wartość oddziaływań dynamicznych przenoszonych na operatora maszyny. Parametry fizyczne sformułowanego tu fenomenologicznego modelu układu suwnica-ładunek-operator zamieszczono w tabl. 1.

Tablica 1

Parametry fizyczne badanego układu

Lp.	Elementy bezwładnościowe		Elementy dyssypacyjne [Ns/m]	Elementy sprężyste [N/m]	Wymiary geometryczne [m]
	[kg]	[kgm ²]			
1	$m_1 = 18275$	$J_1 = 1658456$	$b_1 = 50 \cdot 10^4$	$c_1 = 50 \cdot 10^4$	$l_1 = 8$
2	$m_2 = 1315$	$J_2 = 590$	$b_2 = 50 \cdot 10^4$	$c_2 = 50 \cdot 10^4$	$l_2 = 8$
3	$m_3 = 2537$	$J_3 = 835$	$b_3 = 50 \cdot 10^4$	$c_3 = 50 \cdot 10^4$	$l_3 = 0.75$
4	$m_4 = 75$	$J_4 = 36000$	$b_4 = 50 \cdot 10^4$	$c_4 = 50 \cdot 10^4$	$l_4 = 0.75$
5	$m_5 = 12500$	-	$b_{1C} = 1100$	$c_5 = 50 \cdot 10^4$	$l_5 = 7$
6	$m_{1C} = 35$	-	$b_{2C} = 100$	$c_6 = 50 \cdot 10^4$	$l_6 = 6$
7	$m_{2C} = 5$	-	$b_{3C} = 600$	$c_{1C} = 5.33 \cdot 10^4$	$l_9 = 0.85$
8	$m_{3C} = 10$	-	$b_{4C} = 2$	$c_{2C} = 1.03 \cdot 10^4$	$l_{10} = 0.85$
9	$m_{4C} = 35$	-	-	$c_{3C} = 4.34 \cdot 10^4$	$l_{11} = 10$
10	-	-	-	$c_{4C} = 1.747 \cdot 10^4$	$l_{12} = 1.5$

Symbole m_{iC} , b_{iC} , c_{iC} reprezentują parametry fizyczne modelu fenomenologicznego operatora suwnicy pomostowej. Podczas transportu ładunku wózek wciągarki zmienia swoje położenie względem mostu suwnicy, zmianę tę opisują zależności (2).

$$\begin{cases} l_7(t) = l_7(0) + q_4(t) \\ l_8(t) = l_7(t) + 1.7 \end{cases}, \quad (2)$$

gdzie:

$l_7(0)$ - położenie początkowe wózka wciągarki suwnicy pomostowej, w symulacji komputerowej przyjęto $l_7(0) = -7$ m.

Sztywność ciąga oszacowana z zależności:

$$c_7 = n \frac{E_L A}{l}, \quad (3)$$

gdzie:

n - liczba ciągów, A - pole przekroju poprzecznego ciągu, l - długość ciągu, E_L - Moduł Younga liny.

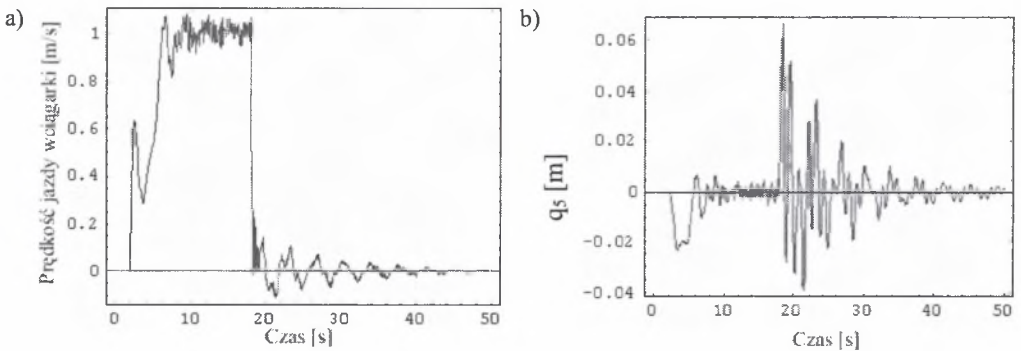
Moduł Younga liny nośnej przyjęto na podstawie danych literaturowych [4],

$$E_L = (0.4 \div 0.65) E, \quad (4)$$

gdzie:

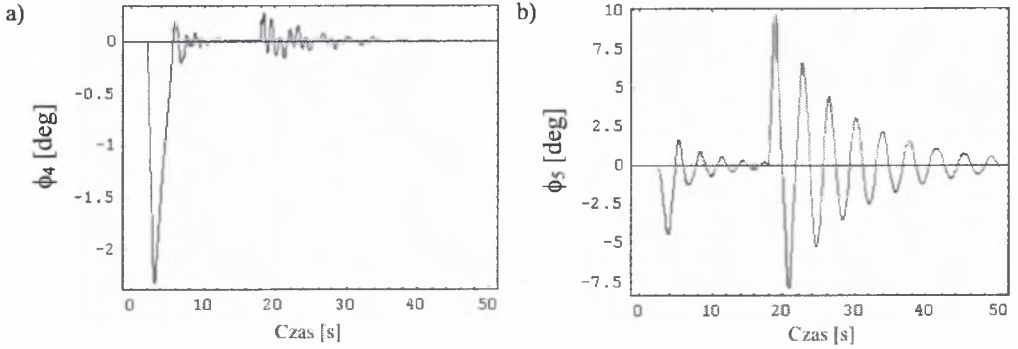
E - moduł Younga materiału, z którego wykonano linę.

Na podstawie danych zamieszczonych w tabl.1 przeprowadzono symulacyjne komputerowe badania dynamiki układu, a uzyskane wyniki przedstawiono w postaci przebiegów czasowych wybranych współrzędnych uogólnionych. Na podstawie wyznaczonych przebiegów czasowych wygenerowano widma amplitudowo-częstotliwościowe, wykorzystując szybkie przekształcenie Fouriera (FFT).

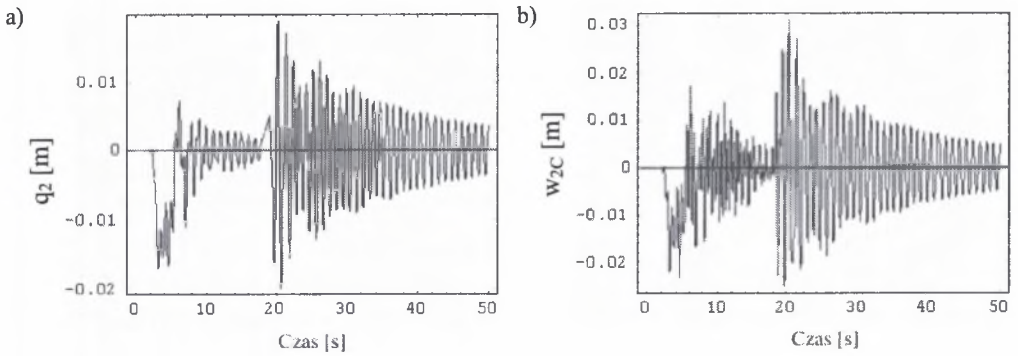


Rys. 3. Odpowiedzi czasowe układu: a) prędkość jazdy wciągarki, b) przemieszczenie ładunku wzdłuż osi ciągu

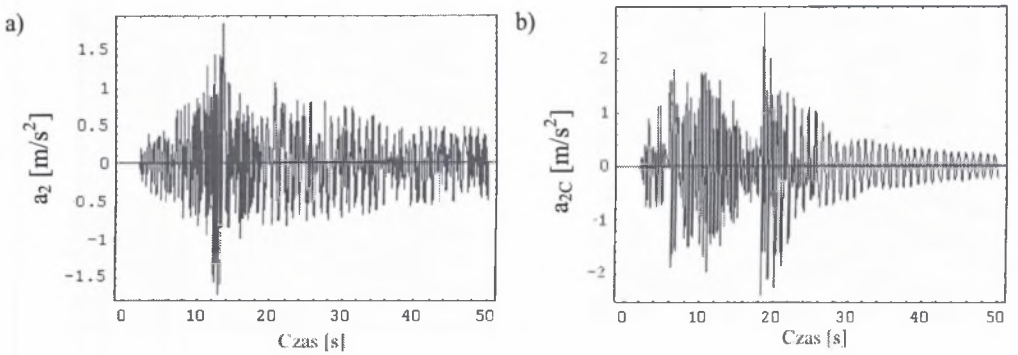
Fig. 3. Time responses of the system: a) speed of the driving of the winch, b) displacement the load along the axis of the rope



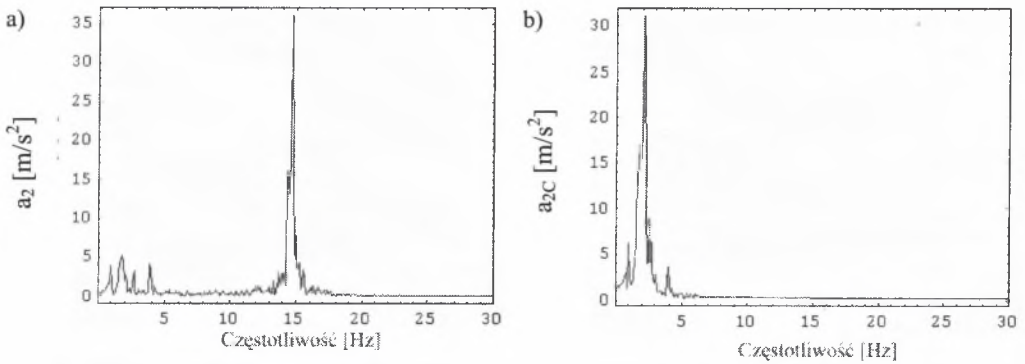
Rys. 4. Kąt wychylenia: a) zbocza dolnego, b) ładunku
 Fig. 4. Bending by the angle: a) lower system of disks, b) transported load



Rys. 5. Przemieszczenie pionowe: a) kabiny, b) głowy operatora
 Fig. 5. Vertical displacement: a) cabins, b) the operator's heads

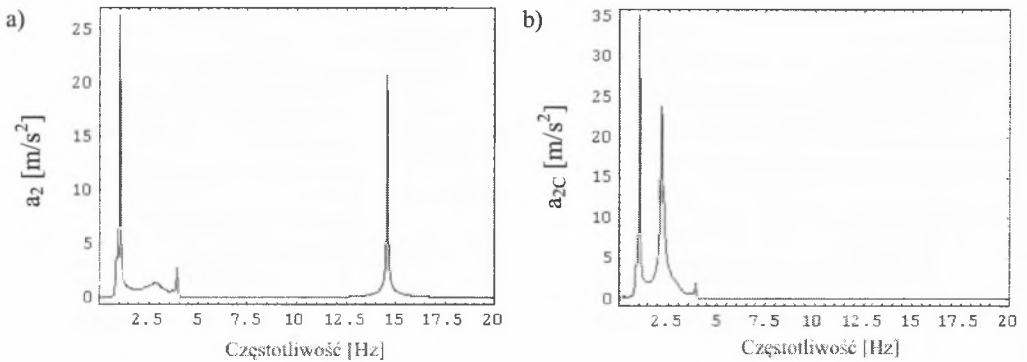


Rys. 6. Przyspieszenie pionowe: a) kabiny, b) głowy operatora
 Fig. 6. Vertical acceleration: a) cabins, b) the operator's heads



Rys. 7. Widmo amplitudowo częstotliwościowe przyspieszeń (przy ustalonej jeździe wciągarce): a) kabiny, b) głowy operatora

Fig. 7. Frequency spectrum of accelerations (drivings determined in the time carriage): a) cabins, b) the operator's heads



Rys. 8. Widmo amplitudowo częstotliwościowe przyspieszeń (w czasie posadawiania ładunku przy nieruchomym wózku suwnicy): a) kabiny, b) głowy operatora

Fig. 8. Frequency spectrum of accelerations (during stabilization of the load): a) cabins, b) the operator's heads

Otrzymane wyniki badań numerycznych wskazują, że drgania mechaniczne wywołane ruchem transportowanego ładunku są szczególnie silne w zakresie niskich częstotliwości poniżej 5 Hz.

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań numerycznych oddziaływań przenoszonych na operatora suwnicy, które są wywołane transportowanym ładunkiem. Ruch wózka wciągarci uwzględnia trzy fazy: rozruch, ruch ustalony, oraz hamowanie, ponadto uwzględniono etap posadawiania ładunku przy nieruchomym wózku suwnicy (rys.3). Na podstawie przeprowadzonych badań numerycznych można stwierdzić:

- sformułowany w pracy model fenomenologiczny suwnicy pomostowej umożliwia jakościową oraz ilościową ocenę wpływu oddziaływań dynamicznych na operatora;
- wahań ładunku spowodowane rozruchem oraz hamowaniem mechanizmu jazdy wózka mają decydujący wpływ na wartość przyspieszeń drgań mechanicznych odczuwanych przez operatora (rys. 6b);

- przemieszczenie pionowe drgań mechanicznych mierzone na elemencie reprezentującym głowę operatora jest około dwukrotnie większe niż przemieszczenie pionowe kabiny (rys. 5);
- przyjęty do badań symulacyjnych model fenomenologiczny organizmu człowieka wykazał, że decydujący wpływ na ciało operatora mają niskie składowe widma amplitudowo-częstotliwościowego (rys. 7, rys. 8);
- opracowany w pracy model może być podstawą do rozwijania badań dynamiki suwnic pomostowych w ujęciu mechatronicznym, w szczególności badań nad wibroizolacją kabin.

Literatura

1. Borkowski W., Konopka S., Prochowski L.: Dynamiki maszyn roboczych. WNT, Warszawa 1996.
2. Margielewicz J.: Mechatroniczny model suwnicy pomostowej. Maszyny Dźwigowo-Transportowe. Kwartalnik Naukowo-Techniczny nr 1-2, 2003. s.23÷33.
3. Nader M.: Modelowanie i symulacja oddziaływania drgań pojazdów na organizm człowieka. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2001.
4. Piątkiewicz A., Sobolski R.: Dźwignice. WNT, Warszawa 1977, t. 1 i 2.
5. Szpytko J., Schab J., Smoczek J.: Badania modeli suwnic pomostowych dla potrzeb eksploatacyjnych. Kwartalnik – Transport Przemysłowy 4(10), 2002. s.40÷44.
6. Uciński J. (red): Badania teoretyczne i doświadczalne możliwości zmniejszenia obciążeń dynamicznych w układach napędowych nawrotnych mechanizmów dźwignic. Prace Naukowe Centralnego Programu Badań Podstawowych 02.05. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1990.
7. Red. Wojnarowski J.: Modele układów maszyna – operator w ograniczaniu oddziaływania drgań wzbudzanych ruchem przerywanym. ZN Katedry Mechaniki Robotów i Maszyn, nr 6, Gliwice 1999.

Recenzent: Dr hab. inż. Manfred Chmurawa