

że ramka oraz płytka z czujnikiem (3) są ciałami sztywnymi, a skrętne połączenia pomiędzy nimi oraz połączenia ramki z kotwicą mają nieliniowe właściwości sprężyste typu kubicznego, wyprowadzono równania modelu matematycznego. Układ mechaniczny sensora jest z założenia projektowany z zamiarem osiągnięcia równych częstości własnych (na poziomie przybliżenia liniowego). Z tego powodu rezonans główny i rezonans wewnętrzny zawsze występują jednocześnie. Naturalnym trybem pracy urządzenia jest kombinacja obu rezonansów. Dla warunków tego naturalnego trybu pracy żyroskopu rozwiązano równania modelu stosując metodę wielu skal z trzema zmiennymi czasowymi. Przybliżone rozwiązania asymptotyczne spełniają równania modelu z bardzo dużą dokładnością. W pracy analizowano również ustalony stan rezonansowy i przedstawiono krzywe odpowiedzi rezonansowych.

W pracach [2, 3, 13] badano nieustalone stany rezonansowe stosując ideę granicznych trajektorii fazowych. Koncepcja granicznych trajektorii fazowych czyli LPT (od angielskiego terminu *limiting phase trajectories*) została zaproponowana przez Manevitcha [5], pierwotnie jako narzędzie do analizy drgań nieliniowych, którym towarzyszy intensywne wymiana energii pomiędzy słabo sprzężonymi oscylatorami. W pracach [6, 7, 8] Manevitch i współautorzy stosowali to podejście do badania drgań odpowiadających niestacjonarnym stanom rezonansów głównych w układach o jednym i dwóch stopniach swobody. Przedmiotem pracy [8] jest układ dwóch oscylatorów o silnie zróżnicowanych masach wykonujących drgania w jednym kierunku, co umożliwia zastąpienie dwóch równań modelu matematycznego jednym równaniem całkowo-różniczkowym.

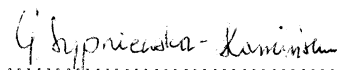
W układzie analizowanym w pracy [13] jeden stopień swobody związany jest z ruchem sztywnym. Wprowadzenie kąta skręcenia w charakterze nowej funkcji sprowadziło równania modelu do jednego równania opisującego ruch względny. Jest nim równanie Duffinga. Zastosowana procedura pozwoliła wyznaczyć w sposób analityczny graniczne trajektorie fazowe oraz wartość krytyczną bezwymiarowego parametru opisującego nieliniowe właściwości wału skrętnego, przy której następuje gwałtowna jakościowa zmiana charakteru wolno zmiennej modulacji amplitud w stanach rezonansowych z intensywną wymianą energii. Ta transformacja przejawia się wyraźną zmianą kształtu krzywych przedstawiających modulację amplitud.

W pracach [2, 3] badano nieustalone drgania rezonansowe wahadła sprężystego, przy czym obok nieliniowości geometrycznej założono także nieliniowe właściwości sprężyny. W odróżnieniu od podejścia stosowanego w pracy [8], równania wolno zmiennej modulacji, na których bazuje metoda LPT, wyprowadzono stosując metodę wielu skal bezpośrednio z równań modelu matematycznego, bez przekształcania ich w jedno równanie. Graniczne trajektorie oraz wartości krytyczne bezwymiarowego parametru nieliniowego zostały określone na drodze numerycznej. Okazało się, że przyjęcie pewnego sposobu obciążenia wahadła pozwala wyeliminować rozwiązanie trywialne z równania odnoszącego się do drgań w kierunku poprzecznym. Z kolei, taka postać równania stanowi istotną okoliczność, dzięki której wyprowadzone równania modulacji mają akceptowalną formę, to znaczy nie są w sposób nadmierny uproszczone. Badane efekty wyrażające się nagłą zmianą charakteru drgań są zależne od parametru związane z nieliniowością sprężyny. Tak więc parametr ten musi pozostać w równaniach modulacji. Wspomniany wyżej sposób obciążenia wahadła oraz przyjęcie trzech zmiennych czasowych w metodzie wielu skal zapewnia zachowanie tego kluczowego parametru w końcowych rozważaniach.

W latach 2012-2016 brałam udział jako wykonawca w realizacji projektu badawczego NCN Maestro 2 No. 2012/04/A/ST8/00738 pt. „Modelowanie matematyczne, analiza numeryczno-analityczna i sterowanie układów hybrydowych mechanicznych dyskretnych i ciągłych z uwzględnieniem zjawisk kontaktowych w przestrzeni trójwymiarowej”. Prace [P4] i [P5] powstały w ramach realizacji tego projektu.

Literatura do Autoreferatu

- [1] Awrejcewicz J., Krysko V.A., *Wprowadzenie do współczesnych metod asymptotycznych*, WNT, Warszawa, 2004.
- [2] Awrejcewicz J., Starosta R., Sypniewska-Kamińska G., 2014, *Asymptotic Analysis and Limiting Phase Trajectories in the Dynamics of Spring Pendulum*, Applied Non-Linear Dynamical Systems Springer Proceedings in 2014, Vol. 93, 161 - 173.
- [3] Awrejcewicz J., Starosta R., Sypniewska-Kamińska G., 2016, *Stationary and transient resonant response of a spring pendulum*, Procedia IUTAM 19 (2016), 201 – 208.
- [4] Blekhman I.I., *Vibrational Mechanics: Nonlinear Dynamic Effects, General Approach, Applications*, World Scientific, Singapore, 1999.
- [5] Manevitch L.I., *New approach to beating phenomenon in coupled nonlinear oscillatory chains*, Archive of Applied Mechanics, vol. 77 (5), 301-312, 2007.
- [6] Manevitch L.I., Musienko A.I., *Limiting phase trajectories and energy exchange between anharmonic oscillator and external force*, Nonlinear Dynamics, 58, 633-642, 2009.
- [7] Manevitch E.L., Manevitch L.I., *Limiting phase trajectories (LPT) in 1 dof asymmetric system with damping and 1:1 resonance*, Proceedings of the 10th Conference on Dynamical Systems Theory and Applications, Lodz, Poland, 7–10 December 2009.
- [8] Manevitch L.I., Manevitch E.L., *Limiting phase trajectories (LPT) and resonances in a strongly asymmetric 2 dof system*, Proceedings of the 10th Conference on Dynamical Systems Theory and Applications, Lodz, Poland, 7–10 December 2009.
- [9] Kononenko V.O., *Vibrating Systems with Limited Power Supply*, Iliffe Books, London, UK, 1969.
- [10] Nayfeh A.H., Mook D.T., *Nonlinear oscillations*, John Wiley and Sons, 1995.
- [11] Routh E.J., *An Elementary Treatise on the Dynamics of the System of Rigid Bodies*, Macmillan and Co, London, 1887.
- [12] Starosta R., Sypniewska-Kamińska G., Awrejcewicz J., 2017, *Nonlinear effects in dynamics of micromechanical gyroscope*, Engineering dynamics and life sciences: DSTA 2017, red. J. Awrejcewicz, Department of Automation, Biomechanics and Mechatronics, 511-520.
- [13] Starosta R., Sypniewska-Kamińska G., 2014, *Nonlinear Vibrations of Rotating System Near Resonance*, Vibrations in Physical Systems, vol. 26(2014), 265 - 272.
- [14] Starosta R., Sypniewska-Kamińska G., Awrejcewicz J., 2018, *Plane motion of a rigid body suspended on nonlinear spring-damper*, Problems of Nonlinear Mechanics and Physics of Materials, edited by Gendelman O.V., Andrianov I.V., Mikhlin Y.V., Manevich A.I., Collection: Advanced Structured Materials, vol. 94, Springer.
- [15] Sypniewska-Kamińska G., Starosta R., Awrejcewicz J., 2016, *Nonlinear vibration of rotating system near resonance*, MATEC Web of Conferences, vol. 83(2016), 10.1051/mateconf/20168305010.



podpis Wnioskodawcy