

Andrzej SZELMANOWSKI, Paweł MIŁOCH

INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH, 01-494 WARSZAWA 96, UL. KSIĘCIA BOLESŁAWA 6

Analiza możliwości pomiaru oddziaływań torsyjnych w zderzeniach płaskich z obrotem

Dr inż. Andrzej SZELMANOWSKI

Adiunkt Zakładu Awioniki ITWL, pracujący w tematach związanych z wdrażaniem nowych urządzeń wyposażenia awionicznego oraz przedłużaniem okresu użytkowania dotychczas eksploatowanych. Zajmuje się modelowaniem lotniczych systemów orientacji przestrzennej i nawigacji oraz systemów automatycznego sterowania lotem. Specjalizuje się w testowaniu wyposażenia awionicznego w ramach badań naziemnych i w locie.



e-mail: andrzej.szelmanowski@itwl.pl

Mgr inż. Paweł MIŁOCH

Specjalista informatyk Zakładu Awioniki ITWL, pracujący w tematach związanych z aplikacjami systemów czasu rzeczywistego i elektroniczną integracją specjalistycznych (tzw. dedykowanych) systemów transmisji danych. Zajmuje się m.in. modelowaniem i badaniami elementów lotniczych systemów nawigacji, łączności i zarządzania lotem. Specjalizuje się w badaniu układów pomiarowych parametrów lotu statków powietrznych.



e-mail: pawel.miloch@itwl.pl

Streszczenie

W referacie przedstawiono nową formułę matematyczną (podaną przez rosyjskiego fizyka prof. Szypowa) dla opisu zjawiska zderzeń płaskich z obrotem w postaci równań pędu i momentu pędu w ruchomym układzie odniesienia. Omówiono opracowany w ITWL model matematyczny dla zderzenia ciał wirujących oraz przedstawiono wyniki jego badań symulacyjnych wykonanych w pakiecie Matlab-Simulink. Określono wartości parametrów układu dla ruchu postępowego i obrotowego zderzających się ciał, umożliwiających wystąpienie tzw. oddziaływań torsyjnych. Zaproponowano układ pomiarowy do określenia tego zjawiska na bazie przyspieszeniomierzy i giroskopów prędkościowych.

Słowa kluczowe: oddziaływania torsyjne, metody badań

Analysis of capabilities to measure torsional interactions in flat collisions with rotation

Abstract

The paper has been intended to present a new mathematical formula (given by Russian physicist Prof. Szypow) to describe flat collisions with rotation in the form of equations of momentum and moment of momentum within a dynamic reference frame. What has been discussed is a mathematical model generated at ITWL to describe collisions of rotating bodies. Simulation-effected results gained with the Matlab-Simulink are presented. Evaluated are parameters of the reference frame for both translatory and rotary motion of colliding bodies, which enable the so-called torsional interactions. Proposed is a measuring system to define this phenomenon using accelerometers and rate gyroscopes.

Keywords: torsional interactions, testing methods

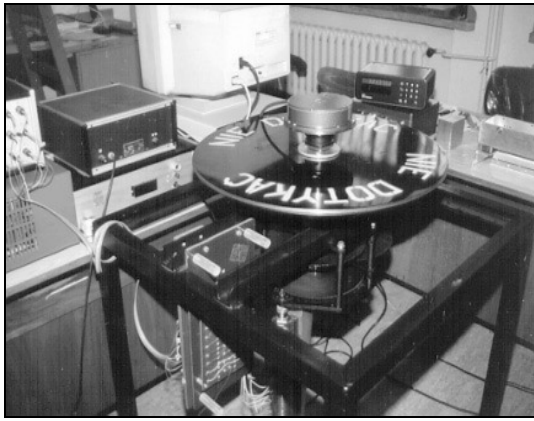
1. Wprowadzenie

Jednym z głównych problemów występujących w procesie badania zjawiska zderzenia ciał jest określenie ich parametrów ruchu oraz zbilansowanie energii i pędu. Na skutek istnienia różnych uwarunkowań w zderzeniach ciał występujących w układach rzeczywistych (ciał swobodnych lub powiązanych z otoczeniem) możliwe są sytuacje, w których zarówno zasada zachowania energii kinetycznej, jak i zasada zachowania pędu nie jest spełniona. Dotyczy to szczególnie sytuacji, kiedy zderzenie nie jest doskonale sprężyste oraz gdy zderzenie ciał wirujących jest niecentralne i zachodzi z poślizgiem. Wtedy do opisu i wykonania bilansu energii i pędu w zderzeniach ciał wygodniej jest używać innych niż klasyczne metod, np. wykorzystywać inne, bardziej dogodne układy odniesienia [1].

Według naukowców rosyjskich, istnieje szczególnie przypadek zderzeń ciał wirujących (zderzeń niecentralnych bez poślizgu), w którym na skutek występowania tzw. oddziaływań torsyjnych (ang. torsional interactions) możliwa jest wymiana energii kinetycznej między ruchem postępowym i obrotowym [1], prowadząca do „złamania” zasady zachowania pędu i momentu pędu w nieruchomym układzie odniesienia. Stąd do ich opisu wykorzystywana jest nowa formuła podana przez rosyjskiego fizyka prof. G.I. Szypowa z Międzynarodowego Instytutu Fizyki Teoretycznej i Stosowanej w Moskwie. Zakłada ona, że w zjawiskach „przepływu” energii kinetycznej z ruchu postępowego w obrotowy (i odwrotnie) dla takich zderzeń może obowiązywać zasada zachowania pędu i momentu pędu zapisana w ruchomym układzie odniesienia związanym ze zderzającymi się ciałami (dogodnym do wykonywania pomiarów). Zasada ta łączy parametry ruchu obrotowego w postaci prędkości kątowej z poprzeczną do osi zderzenia składową prędkości postępowej ciał zderzających się. W nowej formule występuje pojęcie orbitalnego momentu pędu, który w równaniu momentu pędu występuje obok tzw. własnego momentu pędu. Moment orbitalny pojawia się, jeśli istnieje postępową prędkość poprzeczną do osi zderzenia ciał. Stąd poprzez tą składową ustanowiony zostaje „kanał” wymiany energii kinetycznej między ruchem postępowym i obrotowym.

Eksperymenty przeprowadzone przez badaczy rosyjskich m.in. Filatowa ze zderzającymi się giroskopami [2], wykazały istnienie oddziaływań torsyjnych, które powodują, że parametry ruchu postępowego ciał po zderzeniu zależą nie tylko od ich wartości przed zderzeniem, ale także od wartości parametrów ruchu obrotowego. W takim ujęciu oddziaływaniami torsyjnymi byłyby takie zderzenia ciał, w których następuje zmiana pędu na skutek „przepływu” energii kinetycznej z ruchu obrotowego w postępowy i odwrotnie. Efekt ten byłby także sposobem „przejęcia” energii kinetycznej z ruchu postępowego w obrotowy, mającym zastosowanie np. w zderzeniach samochodów w czasie wypadku drogowego. Jak wiadomo [3], zostały już zbudowane proste urządzenia, wykorzystujące zjawisko „przepływu” energii kinetycznej z ruchu postępowego do ruchu obrotowego (np. zderzak i hamulec kinetyczny). Z kolei zjawisko „przerzutu” energii kinetycznej z ruchu obrotowego w ruch postępowy występuje np. w czasie destrukcji rozkręconego silnika turbinowego, który „przekazuje” swoją energię kinetyczną (poprzez siły odśrodkowe) elementom jego mocowania, co powoduje ich rozrzut na znaczne odległości.

Wykonane w ITWL badania stabilności prędkości kątowej wytwarzanej w stanowiskach wolnoobrotowych wykazały, że wśród przyczyn jej zaburzeń są także drgania liniowe przenoszone przez konstrukcję stanowiska (rys.1.). Zaburzenia te świadczą o możliwości występowania oddziaływań torsyjnych w czasie zderzeń kół w przekładniach zębatych [4].

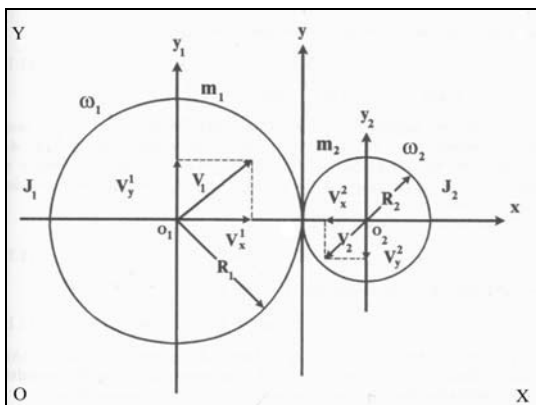


Rys. 1. Model stanowiska wolnoobrotowego – min. prędkość kątowa 0,001°/h
Fig. 1. Model of slow-rotating platform – min. angular velocity 0,001°/h

Dodatkowe badania wykonane w zakresie określenia wartości siły przyłożonej na obwodzie zderzającego się ciała swobodnego, stycznej do jego powierzchni (stanowiącej tzw. moment siły), wykonane dla przypadku pojedynczej siły „ukierunkowanej” w przestrzeni oraz pojedynczej siły związanej ze stałym punktem na powierzchni obracającego się koła zębatego, pozwoliły określić jej „rozkład” na składową działającą na promieniu (zmieniającą parametry ruchu obrotowego) oraz składową działającą na jego środek masy (zmieniającą parametry ruchu liniowego). Pozwoliły one również na zbudowanie modelu matematycznego dla zderzeń ciał z oddziaływaniami torsyjnymi oraz określenie warunków umożliwiających ich wystąpienie. Na podstawie otrzymanych wartości parametrów ruchu zderzających się ciał zaproponowano układ pomiarowy do określenia tego zjawiska w ruchomym układzie współrzędnych (dogodnym do wykonywania pomiarów) na bazie przyspieszeniomierzy krzemowych i giroskopów prędkościowych (np. girochipów).

2. Teoria oddziaływań torsyjnych

W klasycznym ujęciu zderzeń płaskich dwóch ciał swobodnych bez poślizgu (rozpatrywanych w nieruchomym układzie odniesienia) obowiązują dwie zasady: zasada zachowania energii kinetycznej oraz zasada zachowania pędu i momentu pędu. Jak wynika z kursu fizyki, oddziaływania liniowe (polarne) w mechanice klasycznej opisywane są równaniami Newtona, które wiążą parametry ruchu ciała z działającymi na niego siłami. Przykładem takiego oddziaływania są zderzenia sprężyste dwóch ciał (o masach m_1 i m_2 oraz z prędkościami postępowymi v_1 i v_2), gdzie siły sprężystości działające w chwili zderzenia spełniają trzecią zasadę dynamiki Newtona (czyli siły akcji i reakcji się równoważą), a stąd spełniona jest zasada zachowania pędu (w postaci: $p_N = m_1 v_1 + m_2 v_2 = const$) zapisana w nieruchomym układzie odniesienia o osiach $OXYZ$ (rys.2.).



Rys. 2. Sprężyste zderzenie dwu okrągłych ciał bez poślizgu
Fig. 2. Tangent elastic slip-free collision of two ball-shaped bodies

Z kolei oddziaływania kątowe (aksjalne) opisywane są równaniami Eulera. Według kursu fizyki, przy ukośnym zderzeniu dwóch wirujących ciał swobodnych (bez poślizgu) spełniona jest analogia trzeciej zasady dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego (w postaci równoważenia się momentu siły działania M_1 i przeciwdziałania M_2), a stąd spełniona jest zasada zachowania momentu pędu (tzw. krętu) w układzie nieruchomym w postaci:

$$K_N = m_1 v_1 \times OO_1 + m_2 v_2 \times OO_2 + J_1 \omega_1 + J_2 \omega_2 = const \quad (1)$$

Jak widać, parametry ruchu postępowego i obrotowego są rozdzielone względem siebie. Dodatkowo, moment pędu jest wektorem aksjalnym, a w ogólnym przypadku składanie takich wektorów różni się od składania wektorów liniowych, ponieważ dla wektorów aksjalnych prawo przemienności nie jest zachowane z uwagi na nieholonomiczność [5] geometrii przestrzeni trójwymiarowej (macierz komutacji obrotów nie jest symetryczna).

Według Szypowa (w ruchomym układzie odniesienia $O_1x_1y_1z_1$ i $O_2x_2y_2z_2$), dla zderzenia ukośnego ciał bez poślizgu w chwili zderzenia zachodzi wymiana nie tylko pędów (pędów postępowych), ale i momentów pędu (pędów obrotowych) [1]. Rozpatrywany układ posiada dwie osie obrotu, przechodzące przez środki mas O_1 i O_2 wirujących ciał. Występują w nim tzw. całkowite pędy obrotowe (momenty pędu) L_1 i L_2 , które składają się z własnego pędu obrotowego $J_1 \omega_1$ i $J_2 \omega_2$ (własnego momentu pędu) względem własnej osi obrotu oraz tzw. pędu orbitalnego $m_1 v_{1y} O_2 O_1$ i $m_2 v_{2y} O_1 O_2$ (orbitalnego momentu pędu) względem osi obrotu drugiego ciała (co przedstawia rys.2.). Szypow uważa, że w chwili zderzenia ciał spełnione jest prawo zachowania tzw. całkowitego momentu pędu, które obejmuje składową obrotową $J_1 \omega_1$ i $J_2 \omega_2$ oraz składową postępową $m_1 v_{1y} O_2 O_1$ i $m_2 v_{2y} O_1 O_2$. Według niego [1], oddziaływania skątne w czasie ukośnego zderzenia ciał bez poślizgu prowadzą do zapisu zasady zachowania momentu pędu w układzie ruchomym w postaci:

$$K_{Sz} = m_1 v_1 \times O_2 O_1 + m_2 v_2 \times O_1 O_2 + J_1 \omega_1 + J_2 \omega_2 = const \quad (2)$$

Badania wykonane w ITWL wykazały, że prawo to może być spełnione przy założeniu braku przemieszczeń środków O_1 i O_2 (wynikającym z bardzo krótkiego czasu zderzenia), a stąd braku obrotu osi $O_1 O_2$. W takim przypadku, po rozłożeniu na składowe całkowitego pędu i momentu pędu w układzie ruchomym (rys.2.) otrzymuje się dwie zasady:

- zasadę zachowania pędu (w ruchu postępowym) dla składowych prędkości liniowej leżących na prostej O_1x_1 i O_2x_2 zawierającej środki mas ciał zderzających się (co odpowiada zderzeniu centralnemu) oraz na osi do niej prostopadłej O_1y_1 i O_2y_2 ;
- zasadę zachowania momentu pędu (w ruchu obrotowym) dla składowych prędkości liniowej prostopadłych do prostej zawierającej środki mas ciał zderzających się i prędkości kątowych wokół tych środków (co odpowiada oddziaływaniu na ciało tzw. momentu siły względem osi O_1z_1 i O_2z_2).

Szypow uważa, że w rezultacie ukośnego zderzenia ciał wirujących bez poślizgu może zająć oddziaływanie torsyjne, prowadzące do specyficznego rozłożenia i przegrupowania obrotowych własnych i orbitalnych momentów pędu, powodującego zmianę pędu. Jak wynika z analizy zależności (2), zmiana orbitalnych momentów pędu prowadzi do zmiany składowych prędkości postępowej, prostopadłych do osi zderzenia zawierającej środki mas, a to z kolei prowadzi do zmiany wektora wypadkowej prędkości postępowej ciał. W ten sposób zasada zachowania momentu pędu (2) ustanawia związek między postępowymi i obrotowymi formami ruchu i pozwala transformować pęd liniowy w obrotowy i odwrotnie. Ostatecznie, prawo zachowania (2) sprowadza się w chwili zderzenia do współdziałania sił inercji związanych z liniowymi i kątowymi przyspieszeniami ciał. W takim ujęciu oddziaływania torsyjne byłyby takimi oddziaływaniami skrętnymi, które powodują powstawanie przyspieszeń kątowych prowadzących do „złamania” zasady zachowania pędu i momentu pędu w układzie nieruchomym [1].

Według Szypowa, teoretycznie istotny wniosek, jaki wynika z powyższych rozważań, w tym prawa przetwarzania pędu i momentu pędu (2) jest taki, że na skutek wymiany między pędem postępowym i obrotowym (momentem pędu) można zmienić parametry ruchu postępowego i obrotowego ciał zderzających się. W sytuacji, gdy układ zderzających się ciał staje się nie izolowany mechanicznie (występuje oddziaływanie z otoczeniem), to może wystąpić zmiana parametrów ruchu, które po zderzeniu ciał nie będą podlegać zasadzie zachowania pędu i momentu pędu w układzie nieruchomym. Jedną z dróg podjętą w ITWL, prowadzącą do określenia warunków zajścia takiej zmiany, jest zbudowanie modelu symulacyjnego umożliwiającego testowanie zderzeń płaskich dwóch ciał z obrotem.

3. Modelowanie oddziaływań torsyjnych

Doświadczenia ITWL w zakresie oceny stanu technicznego stanowisk wolnoobrotowych pozwoliły na określenie zależności występujących między zderzającymi się kołami zębatymi [4] oraz zbudowanie modelu symulacyjnego zderzeń układu dwóch ciał. W celu wyznaczenia składowych sił występujących w ruchu postępowym i obrotowym wykonano proste eksperymenty, określające ruch ciała pod działaniem pojedynczej siły przyłożonej prostopadle do promienia ciała. Te dodatkowe badania w zakresie określenia wartości siły przyłożonej na obwodzie zderzającego się ciała, stycznej do jego powierzchni (stanowiącej tzw. moment siły), wykonane dla przypadku siły „ukierunkowanej” w przestrzeni oraz siły związanej ze stałym punktem na powierzchni obracającego się koła zębatego, pozwoliły określić jej „rozkład” na składową działającą jako para sił (zmieniającą parametry ruchu obrotowego) oraz składową działającą na jego środek masy (zmieniającą parametry ruchu postępowego). Podstawowe zależności modelowane w pakiecie Matlab-Simulink stanowią równania sił i momentów sił dla ruchu postępowego i obrotowego, z uwzględnieniem tarcia w łożyskach. W modelu symulacyjnym następuje „przeliczanie” parametrów ruchu ciał z nieruchomego układu odniesienia do układu ruchomego związanego z obracającymi się ciałami podczas zderzenia (w którym obliczane są siły i przyspieszenia, a stąd prędkości ciał) i odwrotnie.

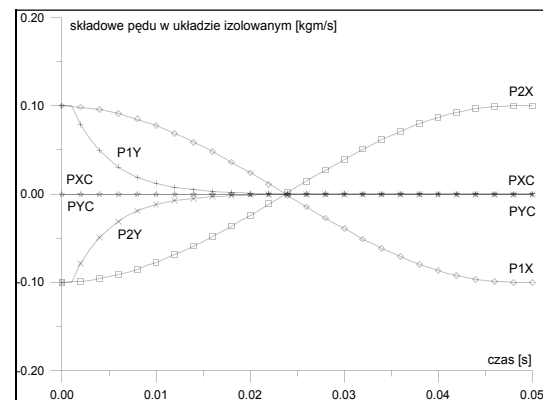
Zbudowany model umożliwia badanie wpływu zmiany parametrów własnych zderzających się ciał: masy (m_1 i m_2), rozmiarów (R_1 i R_2), rozkładu masy (J_1 i J_2), współczynników sztywności (C_1 i C_2), współczynników tarcia (D_1 i D_2 w ruchu postępowym oraz N_1 i N_2 w ruchu obrotowym) oraz parametrów ruchu: prędkości liniowych (v_1 i v_2) i kątowych (ω_1 i ω_2) na spełnienie zasady zachowania krętu według zależności (1) i (2). Należy mieć jednak na uwadze, że opracowany model symulacyjny posiada pewne uwarunkowania, które powodują, że nie obejmuje on całości zagadnień związanych z problemem zderzających się ciał i wymiany energii między nimi. Przykładem mogą być zderzenia dwóch ciał z poślizgiem oraz zderzenia niesprężyste.

4. Badania oddziaływań torsyjnych

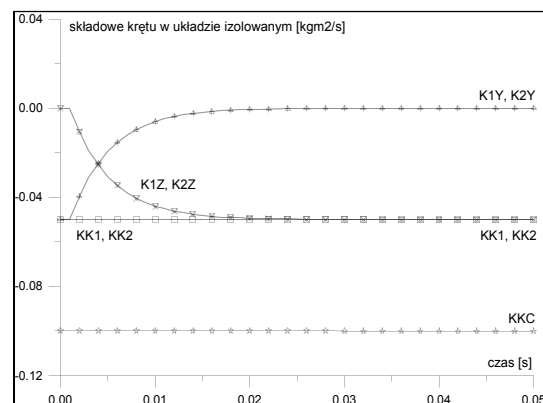
Jako odniesienie przyjęto izolowany mechanicznie układ symetryczny, w którym zderzające się ciała posiadają takie same masy, rozmiary, momenty bezwładności oraz prędkości (tylko co do wartości). W analizowanym przypadku założono, że zderzające się ciała nie posiadają prędkości obrotowej wokół własnych osi przed zderzeniem. W wyniku oddziaływań skrętnych, siły występujące w kanale poprzecznym do osi zderzenia powodują powstanie momentu obrotowego, w wyniku którego po zderzeniu ciała obracają się z prędkościami kątowymi ω_1 i ω_2 , jednocześnie następuje zmniejszenie wartości składowych prędkości liniowej v_{1y} i v_{2y} , prostopadłych do osi zderzenia.

Jak można zauważyć, w czasie zderzenia spełniona jest zarówno zasada zachowania pędu (rys.3.), jak i zasada zachowania momentu pędu (rys.4.). W wyniku zderzenia składowe pędu i krętu zmieniają się – następuje zmniejszenie wartości składo-

wych pędów (P_{1Y} i P_{2Y}) w osi O_{1Y} i O_{2Y} oraz pojawienie się krętów własnych (K_{1Z} i K_{2Z}) w osi O_{1Z} i O_{2Z} zderzających się ciał. Jednak całkowity pęd (P_{XC} i P_{YC}) i całkowity moment pędu (KKC) układu zamkniętego, wyliczany według zależności (1) jak i (2), pozostaje taki sam podczas całego okresu zderzenia.



Rys. 3. Przebiegi składowych pędu dwu ciał w układzie izolowanym
Fig. 3. Courses of components of momentum of two bodies in isolated system



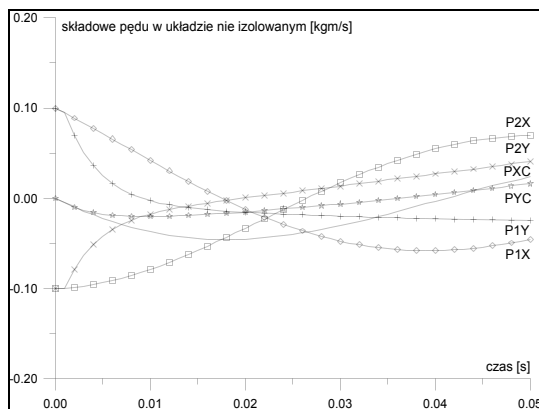
Rys. 4. Przebiegi składowych krętu dwu ciał w układzie izolowanym
Fig. 4. Courses of components of angular momentum in isolated system

Jak wykazały badania symulacyjne, wykonane dla dwóch ciał zderzających się bez poślizgu, żadna (w ramach przyjmowanych wartości) zmiana masy ciał, ich rozmiarów i rozkładów masy nie zmienia ani zasady zachowania energii kinetycznej, ani zasady zachowania pędu i momentu pędu. Czy więc istnieje możliwość „złamania” zasady zachowania pędu i momentu pędu (przepowiadania przy występowaniu oddziaływań torsyjnych) oraz jakie warunki muszą być spełnione, aby takie zjawisko zaszło? Wykonane badania wykazały, że jest to możliwe np. podczas zderzeń z niesymetrycznym rozłożeniem tarcia osiowego w ruchu obrotowym (co zachodzi w układzie nie izolowanym mechanicznie od otoczenia np. w łożysku przekładni zębatej).

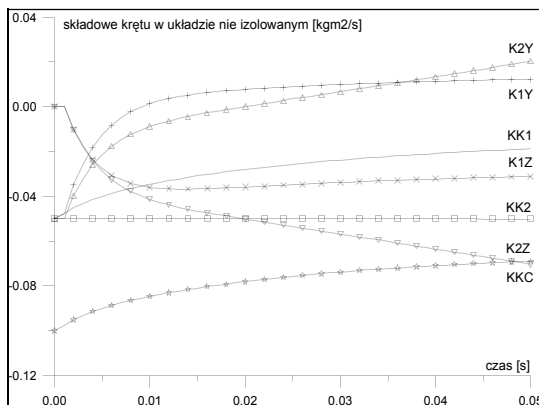
W ogólnym przypadku zderzające się ciała tworzą układ niesymetryczny, w którym zarówno parametry własne ciał, jak i parametry ruchu mogą być różne. Jak wykazały badania, zmiana symetrii układu poprzez zmianę parametrów własnych ciał (masy, rozmiarów, momentu bezwładności, sztywności) oraz parametrów ruchu (prędkości liniowych i kątowych) nie powoduje „złamania” ani zasady zachowania energii kinetycznej, ani zasady zachowania pędu i momentu pędu. Jedynym przypadkiem zderzeń płaskich ciał bez poślizgu (dla przyjętych warunków stosowności zbudowanego modelu), w którym nie spełniona jest zarówno zasada zachowania energii kinetycznej jak i zasada zachowania pędu i momentu pędu, były zderzenia ciał, w których modelowano oddziaływanie z otoczeniem za pomocą zmiany współczynnika tarcia. Na skutek występowania niesymetrycznego tarcia w ruchu obrotowym (o wartości różniące się dla ciała pierwszego i drugiego) otrzymany całkowity pęd i moment pędu (kręt) układu dwóch ciał po zderzeniu był inny niż przed zderzeniem.

Podobnie jak poprzednio założono, że zderzające się ciała nie posiadają prędkości obrotowej wokół własnych osi przed zderzeniem. W wyniku oddziaływań skrętnych, siły występujące w kanale poprzecznym do osi zderzenia powodują powstanie momentu obrotowego, w wyniku którego po zderzeniu ciała obracają się, jednak wartości zarówno prędkości kątowych (ω_1 i ω_2), jak i składowych prędkości liniowej (v_{1y} i v_{2y}) są niesymetryczne. Jak wykazały badania, w czasie ukośnego zderzenia ciał bez poślizgu nie spełniona jest także zasada zachowania energii kinetycznej pomimo zachowania warunku zderzeń sprężystych.

Analizując przebiegi pędu (rys.5.) i momentu pędu (krętu) (rys.6.) można stwierdzić, że w czasie zderzenia składowe pędu ($P1X$, $P2X$, $P1Y$ i $P2Y$) i krętu ($K1Y$, $K2Y$, $K1Z$ i $K2Z$) zmieniają się – następuje zmniejszenie wartości składowych pędów ($P1Y$, $P2Y$) w osi O_1y_1 i O_2y_2 oraz pojawienie się krętów własnych ($K1Z$, $K2Z$) w osi O_1z_1 i O_2z_2 zderzających się ciał.



Rys. 5. Przebiegi składowych pędu dwu ciał w układzie nie izolowanym
Fig. 5. Courses of components of momentum in non-isolated system



Rys. 6. Przebiegi składowych krętu dwu ciał w układzie nie izolowanym
Fig. 6. Courses of components of angular momentum in non-isolated system

Jednak w wyniku wystąpienia tarcia niesymetrycznego całkowity pęd (PXC i PYC) oraz moment pędu (KKC) układu w czasie zderzenia zmienia się. Pomimo zachowania warunku zderzeń sprężystych, podczas zderzenia nie spełniona jest zasada zachowania pędu i momentu pędu (wyliczanego zarówno według zależności (1) jak i (2)). „Połączenie” ciał z otoczeniem powoduje, że układ taki nie jest układem izolowanym mechanicznie i istnieje w nim zarówno możliwość „przepływu” energii kinetycznej (np. jej dyssypacji w łożysku przekładni), jak i zmiany pędu.

5. Propozycja układu pomiarowego

Klasyczny układ pomiarowy zbudowany w ruchomym układzie odniesienia (zawierający przyspieszeniomierze wahadłowe i giroskopy prędkościowe) umożliwi pomiar parametrów ruchu i jest od lat stosowany w ITWL w badaniach statków powietrznych w locie. W wersji nowoczesnej (z czujnikiem światłowodowym)

wym) był on wykorzystywany w badaniach stabilności ruchu wytwarzanego w stanowiskach wolnoobrotowych [4]. Jak się wydaje, układ tego typu może być z powodzeniem wykorzystany w badaniach zderzeń ciał, przy zachowaniu warunku, że wpływ obecności tych sensorów (m.in. ich bezwładność) nie wnosi istotnego wkładu w przebieg samego zjawiska zderzeń ciał i zmiany ich parametrów ruchu. Przykładem takich sensorów mogą być mikroakcelerometry krzemowe oraz tzw. girochipy.

Jak wykazały badania symulacyjne, z uwagi na małe wartości przemieszczeń i prędkości zderzających się ciał, wykorzystanie w badaniach eksperymentalnych układu optycznego (np. kamery „poklatkowej”) do określania położenia liniowego i kąтового w układzie nieruchomym (a stąd do wyliczania prędkości ciał w poszczególnych chwilach zderzenia) wydaje się mało dokładne.

6. Podsumowanie

Dotychczas stosowana metoda badań zderzeń płaskich (rozpartrywana w nieruchomym układzie odniesienia) pozwala na jakościową i ilościową ocenę parametrów ruchu zderzających się ciał, ale staje się skomplikowana gdy zderzające się ciała obracają się przed zderzeniem. Nowa formuła (w układzie ruchomym), poprzez wprowadzenie pojęcia tzw. momentu orbitalnego, ułatwia analizę zderzeń i pozwala na szybkie bilansowanie pędu i momentu pędu (ale przy założeniu braku obrotu osi zderzenia).

Jak wykazały badania, dla układu izolowanego mechanicznie spełniona jest zarówno zasada zachowania energii kinetycznej, jak i zasada zachowania pędu i momentu pędu. Zmiana symetrii układu poprzez zmianę parametrów własnych ciał (masy, rozmiarów, sztywności) oraz parametrów ruchu (prędkości liniowych i kątowych) nie powoduje „złamania” ani zasady zachowania energii kinetycznej, ani zasady zachowania pędu i momentu pędu.

Jedynym przypadkiem zderzeń płaskich ciał bez poślizgu (przy przyjętych założeniach i warunkach stosowalności zbudowanego modelu), w którym – jak wykazały wyniki badań – nie są spełnione te zasady (i mogą wystąpić oddziaływania torsyjne), były zderzenia ciał oddziałujących z otoczeniem (np. kół zębatych zbudowanych w łożyskach stanowisk wolnoobrotowych), co modelowano za pomocą zmiany współczynnika tarcia osiowego. Na skutek występowania niesymetrycznego tarcia otrzymany pęd układu dwóch ciał po zderzeniu był inny niż przed zderzeniem. Sytuacja taka, występująca w układach rzeczywistych (np. przekładniach mechanicznych) może tłumaczyć obserwowalne tzw. zjawiska anomalne, „łamiące” rzekomo podstawowe zasady mechaniki klasycznej [6]. Przedstawiony układ pomiarowy (złożony z przyspieszeniomierzy i giroskopów) może być wykorzystywany do pomiaru zderzeń ciał w takich właśnie zjawiskach.

7. Literatura

- [1] G.I. Shipov: A theory of physical vacuum. Geometry of absolute parallelism. MNTC WENT, Moscow 1998.
- [2] N.W. Fiłatow: Issledowanie udara tiel z bolszimi kinetieczieskimi momientami. PISMO, 1967.
- [3] L. Łągiewka: Energetyczna natura mechaniki. Materiały przesłane, Kowary 2003.
- [4] A. Szelmanowski: Analiza przyczyn zaburzeń prędkości kątowej wytwarzanej w stanowiskach wolnoobrotowych. Rozprawa doktorska. BT ITWL, Warszawa 1999.
- [5] S. Michalak, A. Szelmanowski A., K. Paliwoda: Zjawisko nieholonomiczności w systemach orientacji przestrzennej i metody jego korekcji. Kongres Metrologii, Wrocław, wrzesień 2004, strony 727-730.
- [6] A. Szelmanowski, M. Witoś, E. Raczyński: Badania właściwości giroskopu czterowymiarowego jako napędu torsyjnego. V Szkoła-Konferencja „Metrologia wspomaganą komputerowo”, Rynia, maj 2001, strony 139-146.