

Mirosław Ferdynus ¹⁾, Mateusz Kania ²⁾

ANALIZA KINEMATYCZNA MECHANIZMU UKŁADU STEROWANIA POCHYLENIEM I PRZECHYLENIEM ŚMIGŁOWCA W SYSTEMIE CATIA V5

Streszczenie: W pracy przedstawiono model układu sterowania pochyleniem i przechyleniem śmigłowca wykonany w systemie Catia v5. Analizę kinematyczną modelu wykonano w środowisku DMU Kinematics. Zaprezentowano analizę kolizji i prześwitów oraz odległości komponentów w trakcie symulacji ruchu.

Słowa kluczowe: analiza kinematyczna, układ sterowania śmigłowca, system Catia v5.

WSTĘP

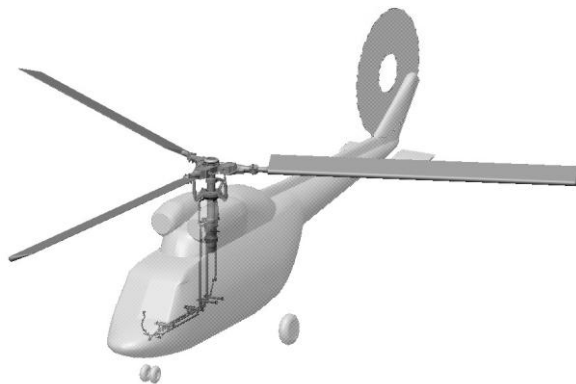
Mechanizm sterowania wirnikiem nośnym śmigłowca w układzie klasycznym realizowany jest przy pomocy ruchomej tarczy sterującej. W tym układzie sterowanie realizowane jest skokiem ogólnym oraz obrotami wirnika nośnego przy pomocy dźwigni skoku ogólnego. Cykliczna zmiana nastawienia łopat dająca możliwość sterownia kierunkowego śmigłowca realizowana jest przy pomocy drążka pilota. Model układu sterowania jest układem klasycznym i został wpisany w nowy kadłub tworzonego prototypu. Wykorzystano nowe położenia wręg, gdzie będą mocowane wsporniki drążków. Wirtualny model składa się ze sterownicy skoku okresowego, drążków sterujących w kabinie pilota, układu dźwigni i popychaczy, który zapewnia przeniesienie sterowania na tarczę sterującą wirnika nośnego. Sterownie realizowane jest poprzez sterownicę w kabinie pilota. W niniejszej publikacji przedstawiono budowę modelu mechanizmu sterowania lotem śmigłowca w aspekcie jego przechylania (na boki) i pochylania (nos–ogon). Model powstał w systemie Catia v5. Poszczególne elementy powstawały w module Part Design i Generative Shape Design. Tworzenie złożenia i nadanie więzów kinematycznych odbywało się w aplikacji Assembly Design i DMU Kinematics. Niezwykle ważne w tak skomplikowanym modelu było nadanie odpowiednich relacji do sterowania ruchem. Relacje te i związki zostały nadane w module Knowledge Advisor. Na rysunku 1 przedstawiono model układu sterowania śmigłowca wpisany w sylwetkę kadłuba.

Ze względu na specyfikę obiektu jakim jest układ sterowania, nie ma sensu badać prędkości i przyspieszenia, czy też trajektorii poszczególnych punktów mechanizmu (choć oczywiście jest to możliwe). W publikacji koncentrowano się

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn.

² Instytut Lotnictwa w Warszawie, Engineering Design Center.

na opisie funkcjonalnym modelu oraz na bardzo ważnym aspekcie- analizie kolizji i prześwitów, która ma zasadnicze znaczenie w projektowaniu tego typu obiektów. Realne problemy konstruktorów to tego typu wady.



Rys. 1. Mechanizm sterowania zabudowany w wirtualnym śmigłowcu
Fig. 1. Mechanism of steering built over in virtual helicopter

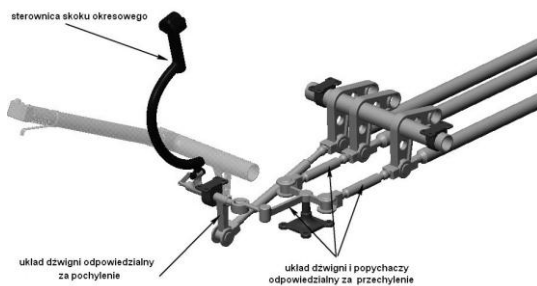
DEFINIOWANIE MECHANIZMU ZŁOŻONEGO UKŁADU STEROWANIA ŚMIGŁOWCA ORAZ SYMULACJA JEGO RUCHU

Celem procesu modelowania mechanizmu jest otrzymanie poprawnej struktury kinematycznej cechującej się sterowalnym i ciągłym jej łańcuchem. Zdefiniowanie mechanizmu w systemie Catia v5 polega na jednoznacznym określeniu rodzaju więzów pomiędzy poszczególnymi elementami ruchomymi urządzenia. Część z tych relacji może być zaimportowana ze złożenia Assembly Design, co znacząco skraca czas tworzenia mechanizmu. W przedstawionym modelu wykorzystane zostały następujące więzy kinematyczne: Revolute Joint - ruch obrotowy pomiędzy dźwigniami a osiami na której są osadzone, Spherical Joint - modelujące pracę przegubów kulistych oraz Rigid Joint - realizujące utwierdzenie elementów w przestrzeni poprzez ich sztywne połączenie z ostoją mechanizmu.

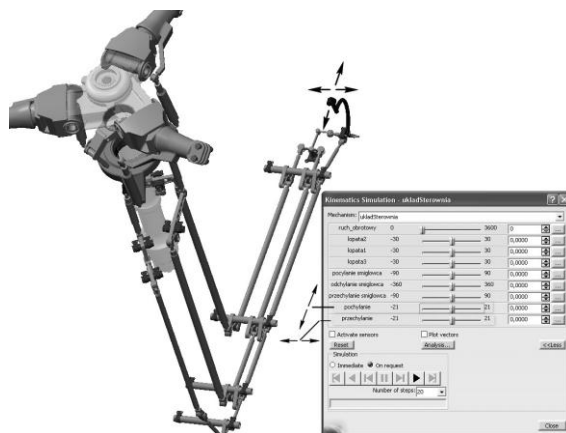
Ze względu na złożoność układu, model był tworzony etapami i na poszczególnych etapach budowano mechanizm realizujący określoną funkcję, następnie sukcesywnie go rozbudowywano i łączono w większe grupy. Po nadaniu wszystkich więzów kinematycznych (a jest ich aż 186) i określeniu sterowań prowadzono symulację z wykorzystaniem komend w celu weryfikacji poprawności modelu.

W projektowanym układzie wyróżniono trzy strefy. Strefa pierwsza (rysunek 2) to sterownica w kabinie pilotów wraz z układem dźwigni, który ruch drążka steru zamienia na ruch posuwisty odpowiednich popychaczy. Sterowanie układem w module DMU Kinematics odbywa się poprzez poruszanie dźwignią bezpośrednio w oknie roboczym (opcja Immediate) lub poprzez zastosowanie suwaków

(opcja On Request). Na rysunku 3 pokazano jak ruch suwaków przekłada się na odpowiednie zachowanie sterownicy.



Rys. 2. Fragment układu sterowania śmigłowca w kabinie pilotów
Fig. 2. A fragment of the control system in the helicopter cockpit



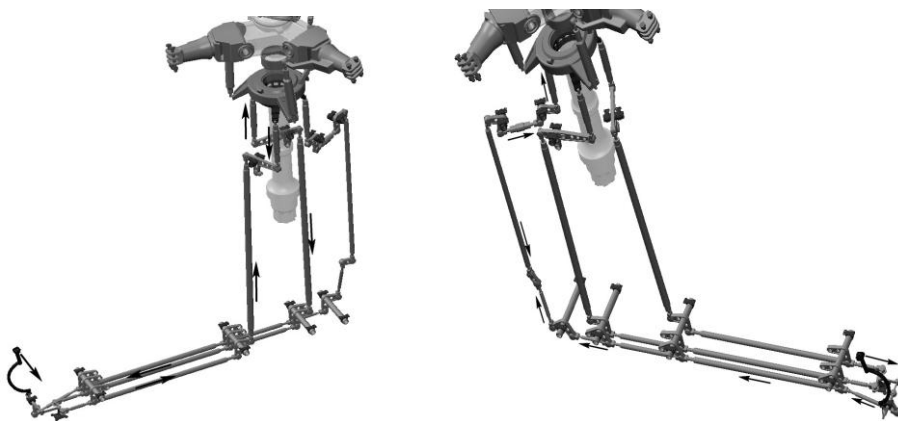
Rys. 3. Sterowanie wirtualnym modelem w module DMU Kinematics
Fig. 3. Control of the virtual model in the module DMU Kinematics

Na rysunku 4 przedstawiono jak ruch sterownicy przenosi się na poszczególne popychacze w celu realizacji przechylenia śmigłowca, a także jego pochYLENIA.

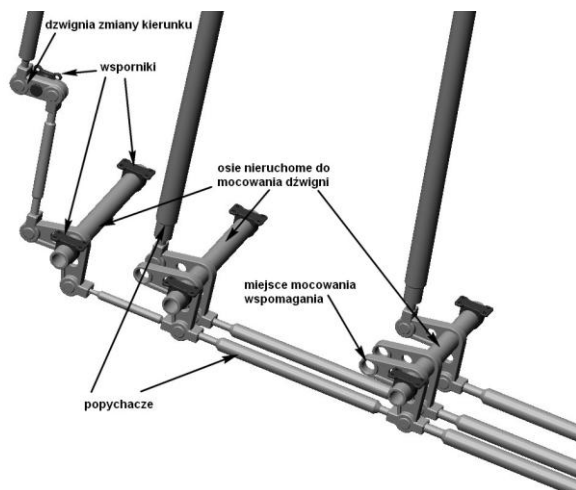
Strefa druga, przedstawiona na rysunku 5, to układ dźwigni i popychaczy zabudowanych na wspornikach rozmieszczonych w odpowiednich miejscach kadłuba, tak aby ruchy sterownicy mogły być możliwie prosto przeniesione na tarczę sterującą wirnika nośnego.

System Catia V5 jako zaawansowany system projektowania 3D, umożliwia precyzyjne umiejscowienie wsporników dźwigni w wirtualnym kadłubie, a co za tym idzie właściwe prowadzenie popychaczy. Dzięki zamocowaniu popychaczy przegubowo na dźwigniach, wykonują one podczas pracy ruch złożony płaski przypominający kołysanie. Często układ konstrukcyjny kadłuba wymusza prowadzenie sterowania tak, że osie wsporników dźwigni są wchrowate co powoduje,

ze ruch popychaczy jest bardziej złożony. System Catia v5 zapewnia narzędzia do analizy tego ruchu pod kątem kolizyjności z fragmentami kadłuba lub innymi elementami infrastruktury pokładowej. Na uwagę zasługuje także konieczność stosowania dźwigni zmieniającej zwrot kierunku ruchu popychacza. Dzięki temu ruch sterownicy powoduje właściwą odpowiedź tarczy sterującej.



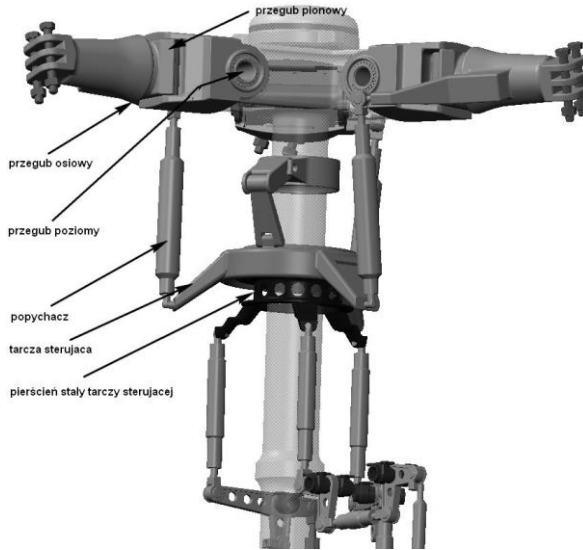
Rys. 4. Sterowanie przechyleniem i pochyleniem śmigłowca
Fig. 4. Control of the helicopter angling and tilting



Rys. 5. Strefa druga układu sterowania
Fig. 5. Second zone of control system

Strefa trzecia zawiera w sobie układ popychaczy i tarczę sterującą. Głównym elementem układu jest mechanizm tarczy sterującej, składający się m.in. z dwóch pierścieni. Dolny pierścień, nie obracający się, może być przechylany w dowol-

nym kierunku zadawanym przez pilota za pomocą sterownicy skoku okresowego. Górny pierścień obraca się wraz z wałem wirnika w taki sposób, że jest on zawsze równoległy do pierścienia dolnego. Pierścień górny jest połączony z łopatomy za pomocą popychaczy i dźwigni przekreńców łopat. Przechylenie tarczy sterującej powoduje zmianę kąta nastawienia łopaty (ruch łopaty względem przegubu osiowego). Nietrudno jest zauważyć, że przy obrocie wirnika, łopaty zmieniają kąt nastawienia okresowo tzn. raz na obrót. Zespół wirnika głównego przedstawiono na rysunku 6.



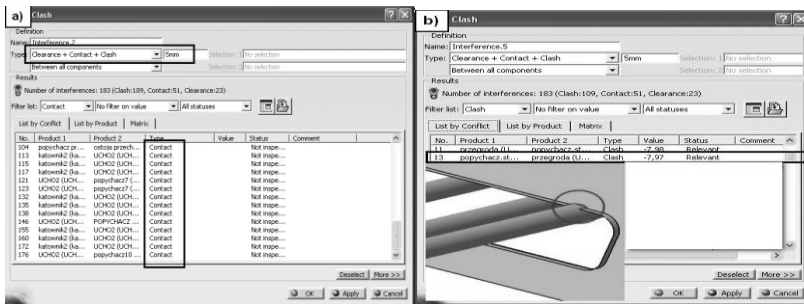
Rys.6. Zespół wirnika głównego
Fig.6. The main rotor assembly

ANALIZA KINEMATYCZNA UKŁADU STEROWANIA I WERYFIKACJA PRAWIDŁOWOŚCI ZAPROJEKTOWANEGO MECHANIZMU

Analiza prawidłowości projektu układu sterowania pod względem jego kinematyki w systemie Catia V5 polega na doprowadzeniu do możliwości symulacji jego ruchu. System nie pozwoli na symulację, jeśli układ nie jest jednoznacznie zdefiniowany. Liczba stopni swobody musi być równa zero. W drzewie struktury modelu pojawia się informacja $DOF=0$ a Catia informuje użytkownika, że mechanizm może być symulowany. A zatem celem, nie łatwym do osiągnięcia, jest uzyskanie ciągłego łańcucha kinematycznego, który zapewni przeniesienie ruchu z członu sterownego na ostatni człon roboczy łańcucha.

Specyfika obiektu badań jakim jest układ sterowania śmigłowca sprowadza analizy kinematyczne do dwóch zagadnień istotnych dla konstruktora: analiza ewentualnych kolizji i prześwitów podczas ruchu mechanizmu (Check Clash and

Clearence) oraz analiza odległości, która pokazuje jaki skok wystąpi na poszczególnych elementach roboczych (Distance and Band Analysis). Takie możliwości praktycznie niedostępne poza systemami 3D umożliwiają precyzyjne poprowadzenie układu sterowania przez meandry korytarzy współdzielonych często z inną infrastrukturą pokładową. Zastosowanie polecenia Clash, które służy do testowania modeli pod kątem prawidłowości ich wykonania, może odbywać się z dwóch poziomów: z poziomu ogólnego - funkcja jest dostępna w większości modułów, a także z poziomu w aplikacji DMU Kinematics gdzie umożliwia testowanie modeli będących w ruchu (konieczne jest podczas symulacji wybranie polecenia Activate Sensors, zaznaczenie, które obiekty mają być śledzone i uruchomienie funkcji Detect Clashes). Aby zaprezentować możliwości systemu do modelu wprowadzono przegrodę i badano kolizje elementów układu sterowania między sobą, a także z przegrodą. Ustawiono także opcję Clearance= 5 mm dzięki której system będzie sygnalizował gdy elementy zbliżą się do siebie bliżej niż 5 mm. Na rysunku 7 przedstawiono wygląd okna Check Clashes w którym można szczegółowo zapoznać się z relacjami pomiędzy poszczególnymi elementami. Istnienie relacji typu Contact świadczy o tym, że elementy zostały dopasowane prawidłowo. Jeżeli pojawia się kolizja (także podczas ruchu) wówczas typ relacji zmienia się na Clash i dodatkowo pojawia się parametr mówiący o wielkości tej penetracji. Widać to na rysunku 7b gdzie przedstawiono także miejsce wystąpienia kolizji.

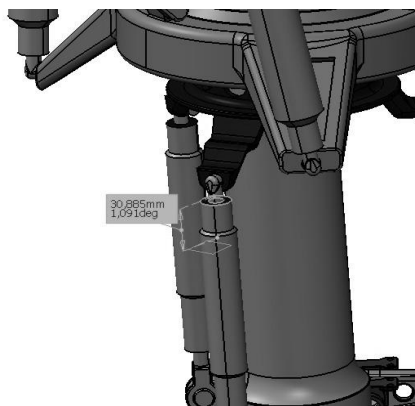


Rys.7. a) analiza prawidłowości wykonania modelu, b) sygnalizacja kolizji (Clash) z przegrodą

Fig.7. a) correctness analysis of execution of model, b) signalling a collision with the baffle

Na rysunku 8 przedstawiono realizację komendy Distance and Band z pomocą której można analizować w trakcie ruchu odległość wybranego obiektu od innego obiektu (także ruchomego). Po wygenerowaniu płaszczyzny referencyjnej na wysokości neutralnego położenia popychacza można określić jego dolne i górne położenie. W ten sposób przed wykonaniem prototypu można analizować przemieszczenia poszczególnych węzłów. Przemieszczenia w trakcie symulacji moż-

na także uzyskać w funkcji czasu po uaktywnieniu odpowiednich sensorów (Activate Sensors) a wyniki wyprowadzić w postaci wykresu lub w pliku Excel.



Rys. 8. Analiza odległości pomiędzy położeniem neutralnym a krańcowym popychacza
Fig. 8. Analysis of distance among neutral site but extreme of the follower

WNIOSKI

Opracowany model układu sterowania śmigłowcem w aspekcie jego pochylania i przechylania jest prawidłowy. Ze względu na ograniczone możliwości dostępu do rzeczywistej konstrukcji śmigłowca nie przedstawiono ze szczegółami przebiegu instalacji pokładowych przez zakamarki śmigłowca. Pokazano jednak możliwości systemu Catia w zakresie wykrywania kolizji, deklarowania niezbędnych prześwitów i analizy funkcjonalności zaprojektowanego układu. Waga tych zagadnień jest niezwykle, gdyż wykrycie wszelkich nieprawidłowości w trakcie testowania wirtualnego prototypu skraca czas uruchomienia produkcji i obniża jej koszty. Wszelkie nieuniknione błędy podczas projektowania generują koszty, tym większe im później zostaną odkryte. Nowoczesne metody projektowania zaprezentowane w pracy wraz z narzędziami do testowania modeli (także w ruchu) sprawiają, że błędów jest znacznie mniej i pojawiają się w fazie gdzie ich usunięcie odbywa się w środowisku wirtualnego modelu. Faza uruchomienia produkcji związana z budową rzeczywistego prototypu, jego badaniami i nieuniknionymi poprawkami jest bardzo kosztowna i czasochłonna. Dobrze zatem, aby prototyp był zbliżony do ideału. Nowoczesne systemy projektowe i przede wszystkim dobrze wyszkoleni konstruktorzy pomagają to osiągnąć. Unika się niezwykle kosztownych zmian konstrukcyjnych na etapie wdrażania wyrobu do produkcji lub w jej trakcie. Zmniejszają się również koszty serwisowe dzięki wyższej jakości produktu oraz zaawansowanym symulacjom, gdzie sprawdzana jest montowalność oraz inne aspekty związane z przyszłymi naprawami.

Bardzo ważnym aspektem w kontekście projektowania statków powietrznych jest zmniejszenie masy startowej. Bardzo precyzyjne prowadzenie układu sterowania, wiązek elektrycznych, rur i wszelkiego rodzaju infrastruktury pokładowej znacząco zmniejsza masę startową śmigłowca oraz redukuje koszty jego produkcji. Zapewnienie odpowiednich odstępów elementów sterowania od fragmentów kadłuba i innych obiektów infrastruktury pokładowej, tak aby w przypadku wystąpienia wibracji nie wchodziły w kontakt z kadłubem jest podstawowym wymogiem bezpieczeństwa i niezawodności projektowanych maszyn.

Presja rynku, konkurencji i coraz ostrzejszych przepisów w celu podniesienia niezawodności i innowacyjności wyrobów, znalazła swoje odzwierciedlenie w diametralnym unowocześnieniu metod projektowania. System Catia v5 w pełni potwierdza swoje olbrzymie możliwości wspomagania nowoczesnego projektowania maszyn i urządzeń.

PIŚMIENNICTWO

1. Wyleżoł M. : Catia v5. Modelowanie i analiza układów kinematycznych. Helion. Gliwice 2007.
2. Wełyczko A.: Catia v5. Przykłady efektywnego zastosowania systemu w projektowaniu mechanicznym. Helion. Gliwice 2005.

KINEMATIC ANALYSIS OF THE HELICOPTER INCLINATION AND TILT CONTROL SYSTEM IN CATIA V5

Summary

In this paper we present kinematics analysis of helicopter steering system model. Particularly it is: trajectory of a moving points analysis, clashes and distance between parts. Application DMU Kinematics in Catia v5 provides easy methods to simulate mechanisms, run kinematics simulations and speed up virtual prototyping. This analysis are useful to study a mechanism behavior to improve its design.

Keywords: Kinematics analysis, Control system, steering, helicopter, CatiaV5.