

KARTA PRZEDMIOTU OFEROWANEGO W SZKOLE DOKTORSKIEJ

Kod przedmiotu	4606-PS-000000H-0040	Nazwa przedmiotu	w j. polskim	Modelowanie nieliniowych układów mechanicznych		
			w j. angielskim	Modeling of Nonlinear Mechanical Systems		
Przynależność do grupy przedmiotów	przedmioty specjalnościowe					
Koordinator przedmiotu	Elżbieta Jarzębowska, dr hab. inż.,prof. PW					
Jednostka realizująca	MEiL	Dyscyplina/y naukowa*	Inżynieria mechaniczna			
Poziom kształcenia	Kształcenie doktorantów	Semestr	Zimowy			
Język zajęć	polski					
Forma zaliczenia:	zaliczenie na ocenę	Sumaryczna liczba godzin w semestrze	45	Sumaryczna liczba ECTS	3	
Minimalna liczba uczestników	10	Maksymalna liczba uczestników	15	Dostępność dla studentów	Tak	
Typ zajęć		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia projektowe	Laboratorium	Seminarium
Liczba godzin zajęć	tygodniowo	1	1	1		
	łącznie w semestrze	15	15	15		

* nie dotyczy warsztatu badacza

1. Wymagania wstępne

- Podstawy mechaniki ogólnej i analitycznej,
- Podstawy znajomości rachunku różniczkowego (równania różniczkowe zwyczajne) i całkowego,
- Podstawy rachunku wariacyjnego

2. Cele przedmiotu

1. Przekazanie porcji wiedzy z zakresu metod modelowania nieliniowego układów mechanicznych, w zastosowaniach inżynierskich i badawczych. Zakres wiedzy obejmuje modelowanie układów holonomicznych i nieholonomicznych, na poziomie modeli kinematyki i dynamiki.
2. Pokazanie, poprzez strukturę wykładu i dobór przykładów, zakresu zastosowań różnych metod modelowania i sposobu podejścia do budowy i analizy różnych modeli nieliniowych.
3. Pokazanie słuchaczom i nauczanie ich „sposobu podejścia” do modelowania, który będą mogli wykorzystać w praktyce inżynierskiej i pracy naukowej.
4. Wykład nie jest wykładem z mechaniki analitycznej mimo, że metody mechaniki analitycznej będą przypomniane i wykorzystywane w modelowaniu.
5. Pokazanie, że modelowanie jest pewną sztuką opartą jednak na racjonalnych regułach.

3. Treści programowe (dla każdego typu zajęć oddzielnie)

Wykład

1. Wprowadzenie – czym jest modelowanie, modele liniowe, nieliniowe, zlinearyzowane. Przewodnik po literaturze.
2. Klasyfikacje modeli dla układów mechanicznych.
 - 2.1. Modele nieliniowe holonomiczne - przykłady.
 - 2.2. Modele nieliniowe nieholonomiczne – przykłady.
3. Modele nieliniowe holonomiczne.
 - 3.1. Teoria – zakres zastosowań równań Lagrange’a II rodzaju.
 - 3.2. Teoria – kanoniczne równania Hamiltona.
4. Modele nieliniowe nieholonomiczne.
 - 4.1. Kinematyczne i dynamiczne modele układów nieholonomicznych.
 - 4.2. Więzy – klasyfikacja więzów w mechanice i nie tylko.
 - 4.3. Teoria – zakres zastosowań równań Lagrange’a z mnożnikami.
 - 4.4. Teoria – równania Maggiego i Kane’a.

4.5. Teoria – równania Boltzmanna-Hamela. 5. Reprezentacja równań więzów w analizie numerycznej modeli nieliniowych. 6. Aspekty numeryczne rozwiązywania równań ruchu układów mechanicznych. 7. Podsumowanie kursu.
Ćwiczenia audytoryjne
Manipulator wieloczołowy – przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki. Manipulator wieloczołowy z więzami geometrycznymi – przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki. Pojazd kołowy - przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki. Model układu biomechanicznego - przykład audytoryjny – zbudować model kinematyki skoczka z trampoliny i model dynamiki robaka z łuską. Model pojazdu kosmicznego - przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki. Model pojazdu podwodnego AUV – przykład audytoryjny – zbudować model dynamiki
Ćwiczenia projektowe
Projekt ćwiczeniowy nr 1 - samodzielne zbudowanie modelu dynamiki dla zadanego przykładu modelu holonomicznego, wykonanie symulacji numerycznej, animacji ruchu. Projekt ćwiczeniowy nr 2 - samodzielne zbudowanie modelu dynamiki dla zadanego przykładu modelu nieholonomicznego, wykonanie symulacji numerycznej, animacji ruchu. Projekt końcowy zaliczeniowy.

4. Efekty uczenia się			
Rodzaj efektu	Opis efektu uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się w SD PW	Sposób weryfikacji efektów uczenia*
Wiedza			
W01	Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie podstawowych metod modelowania, dostępnych równań ruchu i zakresu ich zastosowań.	SD_W2	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
W02	Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie wyboru narzędzi/metod do zbudowania modeli matematycznych modeli układów fizycznych.	SD_W2, SD_W3	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
W03	Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie analizy rozwiązania numerycznego modelu matematycznego układu.	SD_W2	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
Umiejętności			
U01	Potrafi klasyfikować modele układów, rodzaje więzów i układać równania ruchu układu	SD_U1, SD_U4	ocena projektów, aktywność w trakcie zajęć
U02	Potrafi przeprowadzić analizę modelu matematycznego i dokonać linearyzacji	SD_U1	ocena projektów
U03	Umie zastosować równania Lagrange'a I i II rodzaju, równania Lagrange'a z mnożnikami.	SD_U1	ocena projektów
U04	Umie sformułować równania ruchu w parametryzacji innej, niż we współrzędnych uogólnionych.	SD_U2,	ocena projektów
U05	Potrafi sformułować równania więzów do analizy numerycznej modelu nieliniowego.	SD_U1, SD_U2	ocena projektów
Kompetencje społeczne			
K01	Rozumie znaczenie metod modelowania w rozwiązywaniu problemów naukowych i jako podstawowe narzędzie w badaniach naukowych.	SD_K2	ocena aktywności w trakcie zajęć

K02	Rozumie uniwersalność metod modelowania oraz rozumie ich interdyscyplinarność wykraczającą poza inżynierię mechaniczną.	SD_K1	ocena aktywności w trakcie zajęć
K03	Przestrzega etyki zawodowej pracownika naukowego.	SD_K5	ocena projektów

* dozwolone sposoby weryfikacji efektów uczenia się: egzamin; egzamin ustny; kolokwium pisemne; kolokwium ustne; ocena projektu; ocena sprawozdania; ocena raportu; ocena prezentacji; ocena aktywności w trakcie zajęć; prace domowe; test

5. Kryteria oceny

Zaliczenie na ocenę z projektu końcowego. Ocena wg skali: 3.0 (dostateczny), 3.5 (dość dobry), 4.0 (dobry), 4.5 (bardzo dobry), 5.0 (wyróżniający).

6. Literatura

Literatura podstawowa:

1. Layton, R.A. Principles of analytical system dynamics. New York: Springer-Verlag, 1998.
2. Gutowski, R. *Mechanika analityczna*, PWN, 1971.
3. de Jalon, J.G. and E. Bayo. Kinematic and dynamic simulation of multibody systems. Mech. Eng. Series. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
4. Jarzębowska E. *Mechanika analityczna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
5. Jarzębowska E. *Dynamika i sterowanie układami mechanicznymi*, PWN, 2021.

Literatura uzupełniająca:

1. Kwatny, H.G. and G.L. Blankenship. Nonlinear control and analytical mechanics, a computational approach. Boston: Birkhauser, 2000.
2. Nejmark, J.I. and N.A. Fufaev. Dynamics of nonholonomic systems. Providence, Rhode Island: Am. Math. Society, 1972.

7. Nakład pracy doktoranta niezbędny do osiągnięcia efektów uczenia się**

Lp.	Opis	Liczba godzin
1	godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim wynikające z planu	45
2	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim w ramach konsultacji, egzaminów, sprawdzianów itp.	10
3	Godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do zajęć oraz opracowania sprawozdań, projektów, prezentacji, raportów, prac domowych	25
4	godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do egzaminu, sprawdzianu, zaliczenia	10
Sumaryczny nakład pracy doktoranta		90
Liczba punktów ECTS		3

** 1 ECTS pracy = 25-30 godzin nakładu pracy doktoranta (np. 2 ECTS = 60 godzin; 4 ECTS = 110 godzin)