

Spis rzeczy

Przedmowa	13
Część pierwsza	
Stabilność ruchu	15
Wstęp	16
1. Podstawowe definicje teorii stabilności	20
1.1. O stabilności metod i modeli	22
1.2. Podstawowe definicje stabilności	23
2. Stabilność liniowych i zlinearyzowanych równań ruchu	26
2.1. Równania liniowe o stałych współczynnikach	26
2.2. Idea d-podziału	27
2.3. Równania liniowe o zmiennych współczynnikach	28
2.4. Stabilność na podstawie liniowego przybliżenia	30
2.5. Stabilność na podstawie liniowego przybliżenia — przypadek krytyczny	31
2.6. Redukcja liczby stopni swobody	31
3. Energia potencjalna jako kryterium stabilności	34
3.1. Równania Lagrange'a i Hamiltona	34
3.2. Twierdzenie Lagrange'a–Dirichleta	35
3.3. Wpływ sił rozpraszających energię na stabilność ruchu	37
3.4. Wpływ sił gيروسkopowych na stabilność ruchu	37
4. Nierówności całkowe w teorii stabilności	40
5. Metoda bezpośrednia Lapunowa	43
5.1. Podstawowe twierdzenia metody bezpośredniej	43
5.2. Stabilność względem części zmiennych	45
5.3. Stabilność przy stale działających zaburzeniach	45
5.4. Przykłady konstrukcji funkcji Lapunowa	47
5.5. Szacowanie obszaru stabilności	49
5.6. Wykładnik Lapunowa	51
5.7. Metoda równań granicznych	53

5.8. Stabilność i nierówności całkowite	57
5.9. Przykłady	58
6. Stabilność ruchu z uderzeniami	64
6.1. Ogólna charakterystyka układów z uderzeniami	64
6.2. Ruch okresowy układu z uderzeniami	64
6.3. Stabilność rozwiązań równań rekurencyjnych	66
6.4. Stabilność Lapunowa ruchu okresowego z uderzeniami	67
6.5. Stabilność orbitalna ruchu okresowego z uderzeniami	70
6.6. Stabilność rozwiązań równań sumaryczno różnicowych	73
7. Stabilność nieizolowanych położań równowagi	76
7.1. Przykłady	76
7.2. Badanie stabilności rozmaitości równań ruchu	77
7.3. Metoda bezpośrednia Lapunowa badania zbiorów niezmienniczych	79
7.4. Stabilność ruchu okresowo zmiennego	80
7.5. Stabilność ruchu z uderzeniami z rozmaitością punktów stałych	83
8. Stabilność rozwiązań równań o pochodnych cząstkowych	85
9. Stabilność rozwiązań równań z przesuniętym argumentem	88
9.1. Równania liniowe o stałych współczynnikach i stałych opóźnieniach	89
9.2. Równania nieliniowe	91
10. Stochastyczna stabilność ruchu	94
Literatura	100

Część druga

Dynamika układów wieloczłonowych 103

1. Wstęp	104
1.1. Układy wieloczłonowe	104
1.2. Geneza dynamiki układów wieloczłonowych	106
1.3. Zawartość części II	107
2. Podstawy modelowania układów wieloczłonowych	108
2.1. Równania ruchu ciała sztywnego	108
2.2. Przekształcenia równań ruchu	111
2.3. Dynamika układu ciał swobodnych	114
2.4. Opis położań układów wieloczłonowych	116
2.5. Więzy i formy zapisu równań więzów	118
2.6. Reakcje więzów	121
3. Modelowanie i symulacja układów wieloczłonowych w zmiennych absolutnych	124
3.1. Formułowanie równań ruchu	124
3.2. Metoda Geara rozwiązywania równań różniczkowo-algebraicznych	129
3.3. Niejawna eliminacja mnożników Lagrange'a	130
3.4. Jawna eliminacja mnożników Lagrange'a	131
3.5. Metoda rzutowa eliminacji mnożników Lagrange'a	132
3.6. Niwelowanie naruszenia więzów	133
4. Metody modelowania w zmiennych niezależnych	137
4.1. Zmienne niezależne	137

4.2. Równania Lagrange'a II rodzaju	139
4.3. Metoda współrzędnych złączowych	143
4.4. Metoda podziału zmiennych	147
4.5. Modelowanie układów o strukturze zamkniętej	152
4.6. Analiza układów nieholonomicznych	158
4.7. Równania Gibbsa–Appella	163
4.8. Równania Kane'a (Maggiiego)	167
5. Niektóre inne metody dynamiki układów wieloczłonowych	169
5.1. Inny sposób wyznaczania reakcji więzów	169
5.2. Metoda ograniczeń inercyjnych	174
5.3. Metoda współrzędnych naturalnych	178
5.4. Metoda ortonormalizacji	179
5.5. Metody strukturalne modelowania układów mechanicznych	180
6. Uwagi końcowe	183
Literatura	184

Część trzecia

Ruchy chaotyczne w mechanice 191

1. Wprowadzenie	192
2. Atraktory układów dynamicznych	194
2.1. Podstawowe definicje	194
2.2. Mapy Poincarégo	201
2.3. Wykładniki Lapunowa	203
2.4. Własności atraktorów chaotycznych	206
2.5. Wymiar dziwnego atraktora	210
3. Stateczność atraktorów	213
3.1. Liniowa analiza stateczności	213
3.2. Stateczność rozwiązań okresowych	214
3.3. Stateczność rozwiązań chaotycznych i quasiokresowych	216
3.4. Podprzestrzenie stateczne, niestateczne i centralne	218
3.5. Relacje pomiędzy układami liniowymi i nieliniowymi	222
4. Bifurkacje	227
4.1. Lokalne bifurkacje	227
4.2. Bifurkacje punktu krytycznego	230
4.3. Bifurkacje rozwiązań okresowych	237
4.4. Bifurkacje globalne	243
5. Przejście do chaosu	251
5.1. Podwajanie okresu	251
5.2. Przejście quasi-okresowe	253
5.3. Intermitencja	254
5.4. Chaos homokliniczny	257
6. Sterowanie ruchem chaotycznym	261
6.1. Sterowanie przez sprzężenie zwrotne	261
6.2. Sterowanie poprzez dynamiczny tłumik drgań	264

Bibliografia	266
------------------------	-----

Część czwarta

Dynamika giroskopów	271
--------------------------------------	------------

Wykaz ważniejszych oznaczeń	272
---------------------------------------	-----

Wstęp	274
-----------------	-----

1. Giroskop w zawieszeniu Cardana	278
1.1. Giroskop na nieruchomej podstawie — równania ruchu i ich całki pierwsze	278
1.2. Badanie stabilności precesji regularnej	281
1.3. Zbadanie zachowania się kąta obrotu ramki zewnętrznej	285
1.4. Ogólne równania ruchu gioskopu umieszczonego na ruchomej podstawie	292
1.5. Prędkości średnie zejścia osi wirnika wyważonego gioskopu umieszczonego na ruchomej podstawie	296
2. Przyrządy gioskopowe	305
2.1. Zasada działania girotachometru	305
2.2. Błędy girotachometru	309
2.3. Girotachoakcelerometry	315
2.4. Gioskopy wibracyjne	319
2.5. Gioskopy całkujące prędkości kątowe	325
2.6. Gioskopy całkujące przyspieszenia liniowe obiektu	326
3. Stabilizatory gioskopowe	337
3.1. Gioskopowe tłumiki drgań skrętnych	337
3.2. Wymuszenie drgań skrętnych wału, stacjonarnym procesem stochastycznym	343
3.3. Zasada działania jednoosiowego stabilizatora gioskopowego	346
3.4. Girostabilizator dwuosiowy	352
Literatura	358

Część piąta

Dynamika lotu	363
--------------------------------	------------

Wstęp	364
-----------------	-----

1. Modelowanie w dynamice lotu	366
1.1. Badania na modelu materialnym	366
1.2. Badania na obiekcie fizycznym	370
1.3. Badania laboratoryjne na obiekcie fizycznym	370
1.4. Badania bezpośrednie na obiekcie fizycznym	370
1.5. Badania teoretyczne	371
1.6. Modelowanie matematyczne	372
1.6.1. Ogólne równania ruchu mechaniki klasycznej	373
1.6.2. Ogólne równania Boltzmann–Hamela	373
1.6.3. Ogólne równania Maggi’ego	376
2. Układy odniesienia i współrzędne	378
2.1. Współrzędne kątowe	379
2.2. Związki kinematyczne	379
2.3. Kwaterniony — parametry kinematyczne Eulera	381

3. Ogólne równania ruchu dynamiki obiektów latających	384
4. Siły i momenty sił działające na obiekt latający	390
4.1. Siły i momenty sił grawitacyjnych	391
4.2. Siły i momenty sił od napędu	392
4.3. Siły i momenty sił aerodynamicznych	395
4.4. Siły i momenty sił aerodynamicznych wywołane obrotem samolotu	398
4.4.1. Siły i momenty sił aerodynamicznych pochodzące od zmiany kątowej prędkości przechylenia	399
4.4.2. Siły i momenty sił aerodynamicznych pochodzące od zmiany kątowej prędkości pochylania	402
4.4.3. Siły i momenty sił aerodynamicznych pochodzące od zmiany kątowej prędkości odchylania	405
4.4.4. Pochodna aerodynamiczna momentu pochylającego względem zmian prędkości wznoszenia	409
5. Sterowanie obiektem latającym	410
5.1. Siły i momenty sił pochodzące od wychylenia lotek	412
5.2. Momenty sił pochodzące od wychylenia steru wysokości	413
5.3. Siły i momenty sił pochodzące od wychylenia steru kierunku	417
5.4. Sterowanie turbinowym silnikiem odrzutowym	420
5.5. Prawa sterowania i kinematyczne związki naprowadzania	421
6. Ogólny model matematyczny sterowanego samolotu	426
7. Stateczność samolotu	432
7.1. Stateczność statyczna samolotu, kryteria stateczności i sterowności	433
7.2. Linearyzacja dynamicznych równań ruchu	437
7.3. Stateczność dynamiczna	440
8. Symulacja numeryczna dynamiki obiektów latających	450
8.1. Dynamika samolotu w zakręcie	450
8.2. Wejście samolotu w uskok wiatru — „microburst”	455
8.3. Stateczność dynamiczna odkształcalnego samolotu ze sprężystym układem sterowania	460
Wnioski ogólne	469
Literatura	471

Część szósta

Dynamika maszyn i systemów maszyn 473

1. Podstawowe definicje i zadania dynamiki maszyn	474
1.1. Uwagi wstępne	474
1.2. Zasady modelowania dynamiki maszyn	481
1.3. Podstawowe zasady redukcji mas	486
1.4. Równania ruchu układów (modeli) dyskretnych	491
2. Uproszczona dynamika zespołów maszyn	498
2.1. Podstawowy ruch zespołu maszyn	498
2.2. Zakłócenia ruchu podstawowego agregatu	502
3. Dynamika układów o masie zmiennej w czasie	506
3.1. Dynamika punktu o zmiennej masie. Równanie Mieszczyńskiego	506

3.2. Dynamika bryły o zmiennej masie	508
3.3. Twierdzenie o zmianie pędu środka masy układu zmiennego	509
3.4. Twierdzenie o zmianie krętu układu względem środka masy układu zmiennego	512
4. Klasyczna teoria osiowych zderzeń ciał doskonale sztywnych	516
5. Dynamika układów niestacjonarnych	525
6. Rola eksperymentu w dynamice maszyn	531
6.1. Metody pobierania i analizy sygnałów pomiarowych	531
6.2. Identyfikacja modelu maszyny	532
6.3. Eksperymentalna symulacja drgań maszyn	537
7. Układy wibro-udarowe	545
7.1. Struktura układów wibro-udarowych [35]	545
7.2. Warunki okresowości ruchu układów wibro-udarowych	546
7.3. Stateczność ruchu układu wibro-udarowego	549
Literatura	556
Literatura pomocnicza	557

Część siódma

Wybrane problemy vibracji układu człowiek – maszyna 559

1. Wibracje a ciało człowieka	560
1.1. Wstęp	560
1.2. Charakter wibracji działających na człowieka	560
1.2.1. Wibracje rzeczywiste	560
1.2.2. Wibracje stosowane w badaniach laboratoryjnych	561
1.3. Główne częstotliwości ciała ludzkiego	562
1.4. Skutki działania wibracji na człowieka	562
2. Problemy modelowania ciała człowieka jako układu mechanicznego	565
2.1. Badania doświadczalne jako podstawa modelowania	565
2.2. Metody budowy modeli biodynamicznych	566
2.3. Modele biomechaniczne	567
2.3.1. Klasyfikacja modeli biomechanicznych ciała ludzkiego	567
2.3.2. Przykłady stacjonarnych modeli biomechanicznych ciała	567
3. Synteza modeli biomechanicznych	570
3.1. Identyfikacja charakterystyk dynamicznych ciała jako modeli matematycznych	570
3.1.1. Wyniki badań doświadczalnych będących podstawą identyfikacji	570
3.1.2. Cel i założenia identyfikacji	572
3.1.3. Modele matematyczne opisujące dane doświadczalne	572
3.2. Synteza struktur fizycznych dla modeli matematycznych	575
3.2.1. Ogólna procedura syntezy	575
3.2.2. Dobór struktury fizycznej dla modelu matematycznego „back-off”	576
3.2.3. Dobór struktury fizycznej dla modelu matematycznego „back-on”	578
3.2.4. Porównanie modeli „back-off” i „back-on”	578
3.2.5. Podsumowanie	579
4. Problemy wibroizolacji ciała człowieka	581

4.1.	Prezentacja problemu	581
4.2.	Kryteria wibroizolacji	581
4.2.1.	Uwagi ogólne	581
4.2.2.	Klasyfikacja kryteriów	582
4.2.3.	Analityczny zapis kryterium	583
4.2.4.	Ogólna postać przyjętego kryterium wibroizolacji optymalnej dla układów jednowymiarowych	585
4.2.5.	Wpływ postaci kryterium na układ wibroizolacji	586
4.3.	Analityczne metody wibroizolacji	587
4.3.1.	Ogólne procedury wibroizolacji	587
4.3.2.	Wybrane metody syntezy optymalnych układów wibroizolacji	588
4.4.	Metody doświadczalne doboru układów wibroizolacji	588
4.4.1.	Badania prototypów	588
4.4.2.	Lingwistyczne skale dyskomfortu	589
4.5.	Istniejące układy wibroizolacji	589
5.	Optymalne układy wibroizolacji liniowych modeli biomechanicznych	590
5.1.	Ogólne sformułowanie problemu wibroizolacji optymalnej	590
5.1.1.	Założenia	590
5.1.2.	Teoretyczne modele wymuszeń	591
5.1.3.	Problem sprzężenia dynamicznego pomiędzy źródłem wibracji a obiektem	591
5.2.	Synteza optymalnych układów wibroizolacji	592
5.2.1.	Analityczny opis modelu ciało — układ wibroizolacji	592
5.2.2.	Procedura syntezy optymalnego układu wibroizolacji	593
5.2.3.	Przykład optymalnej wibroizolacji modelu biomechanicznego ciała siedzącego człowieka	594
5.3.	Procedury quasi-optymalnej wibroizolacji nieliniowych modeli biomechanicznych	597
5.3.1.	Procedury oparte na metodach symulacyjno-numerycznych	597
5.3.2.	Procedury oparte na linearyzacji modeli nieliniowych	598
5.3.3.	Podsumowanie	599
	Bibliografia	600
	Skorowidz	603