

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	X
Przedmowa	XIII
1. Wstęp	1
1.1. Tłumienie drgań konstrukcji	1
1.2. Systemy redukcji drgań	2
1.3. Przykładowe konstrukcje tłumików drgań	5
1.4. Układ książki	8
1.5. Podstawowe pojęcia i koncepcje	9
Literatura	13
2. Modele wiskotycznych i lepkosprężystych tłumików drgań	14
2.1. Uwagi ogólne o modelach tłumików drgań	14
2.2. Model tłumika wiskotycznego	15
2.3. Model Kelvina	17
2.4. Model Maxwella	19
2.5. Uogólniony model Kelvina	22
2.6. Uogólniony model Maxwella	29
2.7. Model LTU	35
2.8. Ułamkowy model Kelvina	37
2.9. Ułamkowy model Maxwella	42
2.10. Ułamkowe modele czteroparametrowe	47
2.11. Model sztywności zespolonej	50
2.12. Uwagi o możliwości zastosowania teorii dziedziczenia do opisu tłumików drgań	51
Literatura	54
3. Równania ruchu konstrukcji z tłumikami drgań	57
3.1. Uwagi ogólne	57
3.2. Równania ruchu konstrukcji bez tłumików drgań	59

3.3. Równania ruchu konstrukcji z wbudowanymi tłumikami wiskotycznymi	60
3.4. Równania ruchu konstrukcji z wbudowanymi tłumikami lepkosprężystymi ..	62
3.4.1. Zastosowanie metody elementu skończonego	62
3.4.2. Równania ruchu ramy z nieodkształcalnymi ryglami i tłumikami lepkosprężystymi	64
3.4.3. Różniczkowo-całkowa postać równań ruchu konstrukcji z tłumikami lepkosprężystymi	67
3.5. Bilans energii konstrukcji z tłumikami drgań	71
Literatura	73
4. Charakterystyki dynamiczne konstrukcji z tłumikami drgań	74
4.1. Uwagi ogólne	74
4.2. Wpływ tłumienia wiskotycznego na charakterystyki dynamiczne wybranych układów o jednym stopniu swobody	75
4.3. Rozwiązanie równań ruchu zapisanych we współrzędnych fizycznych w przypadku drgań swobodnych	86
4.3.1. Wyznaczanie charakterystyk dynamicznych	86
4.3.2. Wpływ tłumików lepkosprężystych na charakterystyki dynamiczne układu o jednym stopniu swobody	97
4.4. Rozwiązanie równań ruchu zapisanych za pomocą zmiennych stanu	99
4.4.1. Tłumiki drgań opisywane za pomocą klasycznych modeli reologicznych	99
4.4.2. Tłumiki drgań opisywane za pomocą ułamkowych modeli reologicznych	105
4.5. Charakterystyki dynamiczne konstrukcji z tłumikami drgań opisywanymi za pomocą modelu sztywności zespolonej	110
4.6. Wyznaczanie bezwymiarowych współczynników tłumienia metodą modalnej energii sprężystej	112
4.7. Uwagi końcowe	117
Literatura	118
5. Wybrane metody rozwiązywania zagadnień własnych	119
5.1. Uwagi ogólne	119
5.2. Zastosowanie ilorazu Rayleigha i metody wektorów iterowanych do rozwiązania kwadratowego zagadnienia własnego	120
5.3. Uogólniona metoda Jacobiego	125
5.4. Metoda kontynuacji	130
5.4.1. Wersja 1 – zagadnienie własne stowarzyszone z równaniami ruchu zapisanymi za pomocą zmiennych stanu i pochodnych ułamkowych	130
5.4.2. Wersja 2 – zagadnienie własne stowarzyszone z równaniami ruchu zapisanymi za pomocą zmiennych fizycznych	135
Literatura	139

6. Drgania wymuszone konstrukcji z tłumikami drgań	141
6.1. Wprowadzenie	141
6.2. Metoda bezpośrednia analizy drgań ustalonych	142
6.2.1. Tłumiki lepkosprężyste opisywane za pomocą klasycznych modeli reologicznych	142
6.2.2. Tłumiki lepkosprężyste opisywane za pomocą ułamkowych modeli reologicznych	144
6.3. Transformacja własna równań stanu	147
6.3.1. Równania ruchu wyrażone za pomocą współrzędnych głównych	147
6.3.2. Zastosowanie zespolonych wektorów własnych do analizy drgań ustalonych	148
6.4. Numeryczne całkowanie równań ruchu	155
6.4.1. Całkowanie równań ruchu konstrukcji z tłumikami modelowanymi klasycznymi modelami reologicznymi	155
6.4.2. Całkowanie równań ruchu konstrukcji z tłumikami modelowanymi za pomocą ułamkowych modeli reologicznych	163
6.5. Wyznaczanie funkcji odpowiedzi częstotliwościowej metodą Adhikariego	165
Literatura	169
7. Wrażliwość konstrukcji z tłumikami drgań na zmianę parametrów projektowych	171
7.1. Uwagi ogólne	171
7.2. Pojęcie wrażliwości konstrukcji na zmianę parametrów projektowych	172
7.3. Wrażliwość częstości własnych i postaci drgań konstrukcji na zmianę parametru projektowego – drgania nietłumione	175
7.4. Analiza wrażliwości wartości i wektorów własnych konstrukcji z tłumikami drgań	181
7.4.1. Tłumiki opisywane za pomocą klasycznych modeli reologicznych	181
7.4.2. Tłumiki opisywane za pomocą ułamkowych modeli reologicznych	185
7.5. Wrażliwość amplitud drgań ustalonych konstrukcji z tłumikami drgań na zmianę parametru projektowego	186
7.5.1. Tłumiki lepkosprężyste opisywane za pomocą klasycznych modeli reologicznych	186
7.5.2. Tłumiki lepkosprężyste opisywane za pomocą ułamkowych modeli reologicznych	191
7.6. Wrażliwość funkcji odpowiedzi częstotliwościowej na zmianę parametru projektowego	192
7.7. Uwagi o obliczaniu wrażliwości macierzy definiujących konstrukcję na zmianę parametru tłumików	197
Literatura	199

8. Optymalne projektowanie parametrów tłumików i ich położenia na konstrukcji	201
8.1. Wprowadzenie	201
8.2. Wybrane sformułowania zadań optymalnego projektowania tłumików drgań i ich rozwiązania	202
8.2.1. Konstrukcje z tłumikami wiskotycznymi	202
8.2.2. Konstrukcje z tłumikami lepkośćprężystymi opisywanymi za pomocą modelu Kelvina	210
8.2.3. Konstrukcje z tłumikami lepkośćprężystymi opisywanymi za pomocą ułamkowych modeli reologicznych	213
Literatura	215
9. Identyfikacja parametrów wiskotycznych i lepkośćprężystych tłumików drgań	218
9.1. Uwagi ogólne	218
9.2. Identyfikacja parametrów tłumików cieczowych (wiskotycznych)	218
9.3. Identyfikacja parametrów uogólnionego modelu Maxwella i uogólnionego modelu Kelvina	223
9.4. Identyfikacja parametrów modeli tłumików opisywanych za pomocą pochodnych ułamkowych	225
Literatura	233
10. Dynamiczne tłumiki drgań	235
10.1. Uwagi ogólne	235
10.2. Równania ruchu konstrukcji z wieloma dynamicznymi tłumikami drgań	236
10.3. Analiza dynamiczna i projektowanie masowego tłumika drgań	240
10.4. Analiza dynamiczna konstrukcji z wielomasowymi tłumikami drgań	247
10.5. Uwagi o optymalnym projektowaniu parametrów wielomasowych tłumików drgań	255
Literatura	257
11. Wprowadzenie do metod aktywnej redukcji drgań	260
11.1. Uwagi ogólne	260
11.2. Równanie ruchu konstrukcji z układem aktywnej regulacji i jego rozwiązanie	263
11.3. Podstawy teoretyczne wybranych metod aktywnej redukcji drgań	265
11.3.1. Uwagi o jakościowych efektach aktywnej redukcji drgań	265
11.3.2. Metoda liniowych regulatorów kwadratowych (LQR)	266
11.3.3. Wykorzystanie twierdzenia Lapunowa o stabilności ruchu	270
11.3.4. Sformułowanie dyskretno-czasowe metody LQR	271
11.3.5. Metoda natychmiastowej regulacji optymalnej – sformułowanie dyskretno-czasowe	275
11.3.6. Uwagi o innych metodach aktywnej regulacji	277

11.4. Właściwości układu aktywnej redukcji drgań	277
11.4.1. Stabilność ruchu konstrukcji z układem aktywnej redukcji drgań ...	277
11.4.2. Sterowalność i obserwowalność układu aktywnej regulacji drgań ...	278
11.5. Ocena efektywności układu aktywnej redukcji drgań	283
11.6. Estymacja stanu dynamicznego – filtr Kalmana	287
11.7. Uwagi o metodach rozwiązywania równań Riccatiego i Lapunowa	288
11.8. Wyniki przykładowych obliczeń	290
Literatura	293
12. Metody półaktywnej redukcji drgań	296
12.1. Uwagi ogólne o metodach półaktywnej redukcji drgań	296
12.2. Opisy działania i modele półaktywnych tłumików drgań	297
12.2.1. Półaktywny tłumik hydrauliczny	297
12.2.2. Półaktywny tłumik zmieniający sztywność konstrukcji	300
12.2.3. Tłumik resetowany	302
12.2.4. Półaktywne tłumiki magnetoreologiczne	303
12.3. Metody półaktywnej redukcji drgań	307
12.3.1. Sterowanie układem półaktywnej redukcji drgań ze wzбудnikiem hy-	
draulicznym	307
12.3.2. Sterowanie układem półaktywnej redukcji drgań ze wzбудnikiem	
o zmiennej sztywności i ze wzбудnikiem wiskotycznym – metoda	
Lapunowa	308
12.3.3. Sterowanie tłumikiem resetowanym	309
12.4. Wyniki przykładowych obliczeń	311
12.5. Porównanie efektywności tłumików pasywnego i półaktywnego	312
Literatura	317
Skorowidz	319