

SPIS TREŚCI

Od autorów	7
1. Nauka, sztuka i przegląd zagadnień dynamiki budowli	
1.1 Definicja i cel przedmiotu	9
1.2 Ruch drgający	9
1.3 Opis i klasyfikacja obciążeń zewnętrznych	10
1.4 Typy analiz dynamiki konstrukcji	15
1.5 Zasadnicze cechy zagadnień dynamicznych	15
1.6 Modelowanie rzeczywistych konstrukcji	16
1.6.1 Model fizyczny	17
1.6.2 Model obliczeniowy	17
1.6.3 Model matematyczny i jego rozwiązanie	19
1.6.4 Weryfikacja modeli	21
1.7 Dynamiczne badania konstrukcji	21
1.8 Metody dyskretyzacji	23
1.9 Więzi sprężyste odształcalne	26
1.9.1 Uwagi wstępne	26
1.9.2 Sztywność i podatność więzi sprężystych	26
1.10 Charakterystyka ruchów drgających	30
1.10.1 Deterministyczne ruchy drgające	30
1.10.2 Wektorowa interpretacja drgań harmonicznych	32
1.10.3 Składanie drgań harmonicznych	34
1.11 Formułowanie równań ruchu	38
1.12 Siły w ruchu drgającym. Model tłumienia wiskotycznego	40
1.13 Sposoby zmniejszania drgań	43
1.13.1 Redukcja przyczyn drgań	44
1.13.2 Redukcja odpowiedzi układów dynamicznych	45
1.13.3 Wibroizolacja maszyn, urządzeń i budowli	45
2. Drgania konstrukcji o jednym stopniu swobody	
2.1 Modele obliczeniowe	47
2.2 Sformułowanie równań ruchu	47
2.2.1 Równanie równowagi dynamicznej	48
2.2.2 Zasada prac wirtualnych	49
2.2.3 Równania Lagrange'a	49
2.2.4 Zasada Hamiltona	50
2.3 Wpływ siły ciężkości	51
2.4 Zagadnienie własne	52
2.5 Drgania swobodne	53

2.5.1	Tłumienie krytyczne	
2.5.2	Tłumienie podkrytyczne	
2.6	Drgania wymuszone siłą harmoniczną	
2.6.1	Drgania nietłumione	
2.6.2	Drgania przy liniowym tłumieniu wiskotycznym	
2.6.3	Wymuszenie harmoniczne w postaci wykładniczej liczby zespolonej	
2.7	Funkcja dynamiczności obciążenia i współczynnik dynamiczny	
2.8	Odpowiedź rezonansowa	
2.9	Wymuszenie bezwładnościowe	
2.10	Siły wewnętrzne w więziach konstrukcji	
2.11	Drgania wymuszone dowolną funkcją czasu	
2.12	Szczególne przypadki sił wymuszających, analityczne i numeryczne obliczanie całki Duhamela	
2.12.1	Siła wymuszająca o stałej wartości	
2.12.2	Impuls prostokątny	
2.12.3	Impuls w kształcie jednej półfali sinusa	
2.12.4	Siła wzrastająca liniowo od zera do stałej wartości	
2.12.5	Uwagi dotyczące obliczeń numerycznych całki Duhamela	
2.13	Wymuszenie kinematyczne	
2.14	Działanie wymuszeń okresowych	
2.14.1	Rozkład funkcji okresowych w szereg Fouriera	
2.14.2	Odpowiedź na działanie siły wymuszającej rozłożonej w szereg Fouriera	
2.14.3	Szereg Fouriera w postaci zespolonej	
2.15	Działanie wymuszeń nieokresowych - całka Fouriera	
2.16	Relacja pomiędzy impulsową funkcją przejścia i funkcją przenoszenia	
2.17	Numeryczne określenie odpowiedzi układów liniowych i nieliniowych	
2.17.1	Wprowadzenie	
2.17.2	Dyskretyzacja siły wymuszającej i dyskretna odpowiedź układu	
2.17.3	Rozwiązanie numeryczne oparte na interpolacji funkcji wymuszającej	
2.17.4	Metoda różnic skończonych	
2.17.5	Metody numeryczne oparte na aproksymacji pochodnych, metody całkowania numerycznego krok po kroku	102
2.17.6	Uwagi o stabilności i błędach obliczeń	106
2.17.7	Analiza układów nieliniowych	109

3. Drgania konstrukcji o skończonej liczbie stopni swobody – układy dyskretnie

3.1	Uwagi wstępne	119
3.2	Równania ruchu	119
3.3	Zagadnienia własne – drgania własne nietłumione	128
3.3.1	Wprowadzenie	128
3.3.2	Analiza częstości własnych i wektorów własnych	128
3.3.3	Ortogonalność wektorów własnych	130
3.3.4	Macierz własna i macierz widmowa	131
3.3.5	Normalizacja wektorów własnych	132
3.3.6	Uwagi o metodach rozwiązania zagadnienia własnego	132
3.4	Określenie reakcji dynamicznej układów dyskretnych	137
3.4.1	Drgania wymuszone harmonicznie - metoda bezpośrednia	137
3.4.2	Metoda transformacji własnej	138
3.5	Macierz funkcji przenoszenia i macierz impulsowych funkcji przejścia	143

3.5.1	Definicje macierzy funkcji przenoszenia i macierzy impulsowych funkcji przejścia	143
3.5.2	Sposoby określenia macierzy funkcji przeniesienia i macierzy funkcji przejścia	144
3.6	Numeryczne określenie odpowiedzi konstrukcji dla układów liniowych	147
3.6.1	Wprowadzenie	147
3.6.2	Dyskretnie metody rozwiązywania równań różniczkowych ruchu	147
3.6.3	Analiza układów liniowych	149
4.	Drgania prętowych układów ciągłych	
4.1	Uwagi wstępne	153
4.2	Równanie ruchu drgań poprzecznych nietłumionych pręta - działanie sił wymuszających	153
4.3	Równanie ruchu drgań poprzecznych nietłumionych pręta - działanie wymuszenia kinematycznego	155
4.4	Zagadnienie własne	157
4.4.1	Belka swobodnie podparta	158
4.4.2	Belka obustronnie utwierdzona	160
4.4.3	Belka wspornikowa	161
4.5	Wpływ sił tnących i sił bezwładności obrotu elementów na drgania poprzeczne pręta	163
4.6	Warunki ortogonalności	168
4.7	Analiza modalna odpowiedzi - działanie sił wymuszających	169
4.8	Analiza modalna odpowiedzi - działanie wymuszenia kinematycznego	173
4.9	Trudności analizy konstrukcji spotykanych w praktyce inżynierskiej	174
5.	Analiza dynamiczna konstrukcji metodą elementów skończonych	
5.1	Wprowadzenie	177
5.2	Równanie ruchu	177
5.3	Dyskretyzacja i aproksymacja metody elementów skończonych	178
5.4	Tok postępowania przy sformułowaniu równań ruchu metodą elementów skończonych	180
5.5	Dynamiczna analiza belek	181
5.5.1	Element belkowy i jego funkcje kształtu	181
5.5.2	Macierz sztywności elementu belkowego	183
5.5.3	Macierz bezwładności elementu belkowego	184
5.5.4	Macierz tłumienia elementu belkowego	188
5.5.5	Wektor równoważnych obciążeń węzłowych elementu	189
5.5.6	Macierz sztywności systemu, macierz bezwładności systemu i wektor obciążeń systemu	191
5.5.7	Geometryczna macierz sztywności elementu belkowego i geometryczna macierz sztywności systemu	193
5.5.8	Redukcja liczby stopni swobody	196
5.6	Dynamiczna analiza ram płaskich	203
5.6.1	Uwagi wstępne	203
5.6.2	Element ramy płaskiej i jego macierz sztywności	203
5.6.3	Macierz bezwładności elementu ramy płaskiej	204
5.6.4	Transformacja współrzędnych	208
5.7	Uwagi o dynamicznej analizie złożonych konstrukcji metodą elementów skończonych	210

5.7.1	Ogólna charakterystyka metod obliczeniowych ciał stałych	210
5.7.2	Informacja o systemach obliczeniowych metody elementów skończonych	211
6. Drgania losowe		
6.1	Wprowadzenie	227
6.2	Odpowiedź układu o jednym stopniu swobody przy zastosowaniu funkcji korelacji	227
6.3	Metoda widmowa dla układu o jednym stopniu swobody poddanego wymuszeniu stacjonarnemu	229
6.4	Metoda widmowa dla układów o skończonej liczbie stopni swobody poddanych wymuszeniu stacjonarnemu	232
6.4.1	Metoda bezpośrednia	232
6.4.2	Metoda superpozycji postaci drgań	233
6.5	Drgania układów dyskretnych przy wymuszeniu niestacjonarnym	238
6.5.1	Metoda bezpośrednia	239
6.5.2	Metoda superpozycji postaci drgań	242
6.6	Problemy niezawodności, przewyższeń i wartości szczytowych	243
6.6.1	Sformułowanie problemu	243
6.6.2	Wzór Rice'a	245
6.6.3	Zagadnienia stacjonarne	247
6.6.4	Zagadnienie niestacjonarne	252
6.6.5	Uwagi końcowe	256
7. Drgania budowli przy wymuszeniu sejsmicznym		
7.1	Wprowadzenie do problematyki obciążeń sejsmicznych budowli	257
7.2	Równania ruchu układów dyskretnych poddanych wymuszeniu kinematycznemu	262
7.3	Metoda spektrum odpowiedzi dla układów o jednym stopniu swobody	267
7.4	Metoda spektrum odpowiedzi dla układów dyskretnych	274
7.5	Stochastyczne modele ruchu podłoża budowli	276
7.6	Problemy obliczeń sejsmicznych budowli - normatywy sejsmiczne	280
7.6.1	Siły sejsmiczne	280
7.6.2	Spektra odpowiedzi Eurokodu 8	281
Dodatek: Elementy korelacyjnej i widmowej teorii procesów stochastycznych		
1.	Definicja procesu stochastycznego	287
2.	Funkcje korelacyjne i inne momenty procesów stochastycznych	288
3.	Procesy stochastyczne stacjonarne i niestacjonarne	291
4.	Procesy stochastyczne wektorowe	293
5.	Procesy Gaussowskie i Poissona	295
6.	Analiza widmowa procesów stacjonarnych	297
7.	Zależności dotyczące funkcji korelacji i gęstości widmowych procesu stacjonarnego i jego pochodnych	301
8.	Rozkłady widmowe procesów niestacjonarnych	304
Literatura		307