

Spis treści

Rozdział 1. Wstęp	9
1.1. Metody przybliżone	11
Rozdział 2. Pułapki symulacji komputerowych	15
2.1. Spektralna liczba uwarunkowania	20
2.2. Skalowanie	23
Rozdział 3. Metody numeryczne całkowania równań różniczkowych ruchu	25
3.1. Metoda pojedynczego kroku SSPj	32
3.2. Metoda Parka	34
3.3. Metoda różnic centralnych	35
3.3.1. Stabilność metody	37
3.3.2. Dokładność metody	39
3.4. Metody Adamsa	40
3.4.1. Formuły Adamsa jawne (otwarte)	40
3.4.2. Metody Adamsa niejawne (zamknięte)	43
3.5. Metoda Newmarka	45
3.6. Metoda Bossaka	47
3.7. Metoda Parka–Housnera	49
3.7.1. Stabilność metody Parka–Housnera	49
3.8. Metoda Trujillo	51
3.9. Własności schematów całkowania	52
3.9.1. Dokładność metod	54
Rozdział 4. Metoda elementów czasoprzestrzennych	57
4.1. Sformułowanie metody – wariant przemieszczeniowy	64
4.1.1. Elementy czasoprzestrzenne w opisie przemieszczeniowym	71
4.1.2. Modyfikowane funkcje kształtu	74
4.2. Elementy czasoprzestrzenne wyższego rzędu	76
4.2.1. Sześcienne funkcje kształtu	80
4.3. Stabilność w siatkach niestacjonarnych	82
4.3.1. Przypadek elementów czworokątnych	83
4.3.2. Stabilność ukośnych elementów czworokątnych pręta drgającego osiowo	87

4.4. Makroelementy czasoprzestrzenne	89
4.5. Opis prędkościowy metody	90
4.5.1. Układ o jednym stopniu swobody	91
4.5.2. Dyskretyzacja równania różniczkowego drgań struny	94
4.5.3. Ogólny przypadek sprężystości	100
4.5.4. Inne funkcje prędkości wirtualnych	102
4.5.5. Przykłady obliczeniowe	105
4.6. Metoda elementów czasoprzestrzennych a inne metody obliczeniowe	112
4.6.1. Zbieżność metody	112
4.6.2. Błąd fazowy	115
4.6.3. Zadania bezmasowe	117
4.7. Metoda elementów czasoprzestrzennych a metoda Newmarka	118
Rozdział 5. Elementy sympleksowe	119
5.1. Własności podziału czasoprzestrzeni	121
5.2. Efektywność numeryczna	125
5.3. Elementy sympleksowe w opisie przemieszczeniowym	128
5.3.1. Trójkątny element pręta drgającego osiowo	128
5.3.2. Element czasoprzestrzenny belki o średniej grubości	129
5.3.3. Czworoboczny element czasoprzestrzenny tarczy	131
5.3.4. Czworoboczny element płyty średniej grubości	133
5.3.5. Nadczworoboczny element ciała trójwymiarowego	138
5.4. Elementy trójkątne wyrażone w prędkościach	140
5.4.1. Ruch układu mas po strunie	145
5.5. Adaptacja siatki podziału	151
5.5.1. Adaptacja typu r	154
5.5.2. Nieciągła w czasie adaptacja siatki typu h	155
5.5.3. Ciągła w czasie h -adaptacja w opisie prędkościowym	161
Rozdział 6. Metody bezsiatkowe	163
6.1. Sformułowanie metody	164
6.2. Wyniki	167
Rozdział 7. Obciążenia ruchome	169
7.1. Poruszająca się siła	172
7.1.1. Poruszające się obciążenie inercyjne – rozwiązanie analityczne	174
7.1.2. Wyniki obliczeń	182
7.1.3. Nieciągłość rozwiązania	185
7.1.4. Uwagi końcowe	188
7.2. Klasyczny opis numeryczny ruchomej masy	188
7.3. Element czasoprzestrzenny struny niosący masę	192
7.3.1. Wyniki obliczeń numerycznych	194
7.4. Belka pod obciążeniem ruchomym – metoda półanalityczna	195
7.4.1. Klasyczny model numeryczny belki	199
7.5. Element belki niosący masę	201
7.5.1. Elementy czasoprzestrzenne belki Bernoulliego–Eulera niosące masę	201
7.6. O rozwiązaniu numerycznym równań ruchu belki Timoshenki	203

Rozdział 8. Zagadnienia kontaktowe	205
8.1. Dynamiczne warunki kontaktu	209
8.1.1. Prędkość w strefie kontaktu	213
8.2. Kontakt jednostronny i tarcie	217
8.3. Duże przemieszczenia	225
8.3.1. Duże obroty	225
8.3.2. Element ramownicy płaskiej	226
8.4. Procedura przyrostowa	230
8.4.1. Algorytm krokowy	233
Rozdział 9. Zastosowania inżynierskie metody elementów czasoprzestrzennych	239
9.1. Podłużnica karoserii samochodowej	239
9.1.1. Opis matematyczny	241
9.1.2. Duże przemieszczenia	242
9.1.3. Skończone przemieszczenia i obroty	244
9.2. Macierz funkcji kary	248
9.2.1. Wnioski	252
9.3. Dynamika układu pojazd-tor	252
9.4. Dynamika toru metra	259
9.5. Drgania płyt lotniskowych	262
Rozdział 10. Uwagi końcowe	267
Dodatek A. Macierze w elemencie belki	271
Skorowidz	279
Bibliografia	281

Łączono możliwości znanych technik (metody różnic skończonych i elementów skończonych), zaczęły powstawać nowe metody (metoda elementów brzegowych, elementy ruchome, metody bezzłatkowe). Ograniczone możliwości obliczeniowe komputerów nadal zmuszały do prac nad poprawą wydajności obliczeniowej algorytmów. Wraz ze wzrostem mocy procesorów i obniżeniem kosztu pamięci operacyjnej wysiłki twórców oprogramowania przesunął się ku poprawie wykorzystania istniejących programów obliczeniowych: doskonalono sposób wprowadzania danych oraz opracowano atrakcyjne formy wizualizacji wyników. Programy komputerowe zaczęto powszechnie wykorzystywać w praktyce inżynierskiej.

Dzisiaj modelowanie komputerowe powszechnie obejmuje zjawiska rozciągające się w czasie. Zarówno wiedza, jak i narzędzia komputerowe pozwalają na uwzględnienie wielu czynników wpływających na procesy w konstrukcjach i systemach.