

Spis treści

Przedmowa	13
Rozdział 1. Wprowadzenie – pojęcia podstawowe	15
1.1. Podstawowe parametry ruchu falowego. Dźwięk	15
1.1.1. Ruch drgający (falowy)	15
1.1.2. Podział drgań	16
1.1.3. Fale	17
1.1.4. Dźwięk	24
1.2. Podstawowe parametry pola akustycznego	26
1.2.1. Natężenie dźwięku i moc akustyczna, średnie natężenie dźwięku	26
1.2.2. Poziom natężenia dźwięku i poziom mocy akustycznej	27
1.2.3. Ciśnienie akustyczne oraz poziom ciśnienia akustycznego	30
1.3. Podstawy teorii sygnałów	32
1.3.1. Szeregi Fouriera	32
1.3.2. Dyskretna transformata Fouriera (DFT), szybka transformata Fouriera (FFT)	35
1.3.3. Moc sygnału w dziedzinie częstotliwości	36
1.3.4. Filtry	37
1.4. Modele pola akustycznego	40
1.4.1. Modele fizyczne	41
1.4.2. Modele teoretyczne	43
Rozdział 2. Zjawiska falowe	51
2.1. Akustyka liniowa, superpozycja fal	51
2.2. Zasada Huygensa	53
2.3. Impedancja akustyczna	53
2.4. Interferencja fal	54
2.4.1. Fale stojące	60
2.4.2. Dudnienia	61
2.4.3. Fale niekoherentne	63
2.5. Odbicie fali	64
2.6. Dyfrakcja fal	67
2.7. Rozproszenie fali	70
2.8. Załamanie fali akustycznej	71

2.9.	Pochłanianie dźwięku	72
2.10.	Refrakcja fal dźwiękowych w atmosferze	73
2.11.	Polaryzacja	74
2.12.	Zjawisko echa	74
2.13.	Zjawisko Dopplera	75
2.14.	Efekt unoszenia i fala uderzeniowa	77
Rozdział 3.	Równanie falowe	81
3.1.	Rodzaje fal	81
3.2.	Wyprowadzenie równania falowego	84
3.2.1.	Układy jednowymiarowe	90
3.2.2.	Układy dwuwymiarowe (powierzchniowe)	96
3.3.	Warunki brzegowe	99
3.4.	Częstotliwości drgań własnych	100
3.5.	Równanie falowe w teorii falowej pola akustycznego w pomieszczeniach	102
Rozdział 4.	Elementarne źródła dźwięku	107
4.1.	Źródła punktowe	109
4.1.1.	Monopol akustyczny	113
4.1.2.	Dipol akustyczny	116
4.1.3.	Kwadrupol	118
4.2.	Źródła powierzchniowe	120
4.2.1.	Oscylująca kula	120
4.2.2.	Źródła fal walcowych	120
4.2.3.	Pulsujący walec	123
4.2.4.	Oscylujący walec	124
Rozdział 5.	Ustroje akustyczne	125
5.1.	Falowod akustyczny	125
5.1.1.	Fala płaska w falowodzie akustycznym (bez tłumienia fali w rurze)	125
5.1.2.	Fala płaska w falowodzie akustycznym (z tłumieniem fali w rurze)	127
5.1.3.	Zachowanie się falowodu akustycznego w zakresie niskich częstotliwości	129
5.1.4.	Przyczyny strat w układach akustycznych	131
5.2.	Rezonatory	133
5.2.1.	Rezonator prostopadłościenny	138
5.3.	Filtry akustyczne	139
5.3.1.	Wtrącony odcinek rury o przekroju większym od przekroju falowodu	140
5.3.2.	Wtrącony odcinek rury o przekroju mniejszym od przekroju falowodu	141
5.3.3.	Otwór w falowodzie	142
5.3.4.	Filtr z elastyczną membraną	142

5.3.5.	Filtr z rezonatorem Helmholtza	143
5.3.6.	Filtr z komorą i otworem	144
5.4.	Dyfuzory	144
Rozdział 6.	Głośniki, zestawy i systemy głośnikowe	147
6.1.	Głośniki otwarte	147
6.2.	Głośniki tubowe	153
6.3.	Obudowy głośników otwartych	155
6.3.1.	Obudowa otwarta	156
6.3.2.	Obudowa zamknięta	159
6.4.	Zestawy głośnikowe	161
6.5.	Systemy głośnikowe	163
6.5.1.	Układ centralny rozmieszczenia głośników	166
6.5.2.	Układ decentralny rozmieszczenia głośników	166
6.5.3.	Układ strefowy rozmieszczenia głośników	169
6.5.4.	Układ mieszany rozmieszczenia głośników	169
Rozdział 7.	Instrumenty muzyczne jako źródła dźwięku	171
7.1.	Rys historyczny	171
7.2.	Klasyfikacja naukowa instrumentów muzycznych	176
7.2.1.	Idiofony	176
7.2.2.	Membranofony	177
7.2.3.	Chordofony	177
7.2.4.	Aerofony	178
7.3.	Modelowanie instrumentów muzycznych	179
7.3.1.	Modele jednowymiarowe – drgania strun i belek	180
7.3.2.	Modele dwuwymiarowe – drgania membran i płyt	182
7.3.3.	Modele trójwymiarowe – modele powłokowe i bryłowe	184
Rozdział 8.	Statystyczna teoria pola akustycznego	185
8.1.	Chłonność akustyczna pomieszczenia	186
8.2.	Średni współczynnik pochłaniania dźwięku	186
8.3.	Średni czas i średnia długość drogi swobodnej fali dźwiękowej w pomieszczeniu	187
8.4.	Narastanie i zanikanie energii dźwiękowej w pomieszczeniu	190
8.5.	Czas pogłosu pomieszczenia	193
Rozdział 9.	Geometryczne modele pola akustycznego	197
9.1.	Metoda źródeł pozornych	197
9.1.1.	Idea konstrukcji źródeł pozornych	199
9.1.2.	Zasada wyznaczania rozkładu przestrzennego źródeł pozornych	200
9.1.3.	Algorytm wyznaczania rozkładu pola akustycznego w pomieszczeniu prostopadłościennym	202
9.1.4.	Ograniczenia metody źródeł pozornych	206
9.2.	Metoda promieniowa	206
9.2.1.	Model pomieszczenia	207

9.2.2.	Opis punktu	208
9.2.3.	Opis powierzchni	208
9.2.4.	Model źródła dźwięku	209
9.2.5.	Model odbiornika	210
9.2.6.	Model propagacji dźwięku w pomieszczeniu	210
9.2.7.	Sposób obliczenia poziomu ciśnienia akustycznego	210
9.2.8.	Algorytm metody promieniowej	212
9.3.	Metody pochodne	217
9.3.1.	Metoda stożków	217
9.3.2.	Metoda ostrosłupów	217
Rozdział 10.	Modelowanie drgań i dźwięku za pomocą MES	219
10.1.	Modelowanie pola mechanicznego	221
10.2.	Modelowanie pola akustycznego	224
10.3.	Modelowanie sprzężenia pola akustycznego z mechanicznym	227
Rozdział 11.	Akustyka słuchu i mowy	229
11.1.	Akustyka słuchu	229
11.1.1.	Proces słyszenia	229
11.1.2.	Fizjologia słuchu	229
	Ucho zewnętrzne	229
	Ucho środkowe	230
	Ucho wewnętrzne	230
11.1.3.	Psychoakustyka	232
	Progi słyszalności	232
	Selektywność dźwięków	233
	Maskowanie dźwięków	233
	Głośność dźwięku	233
	Rozdzielczość czasowa układu słuchowego	234
	Percepcja tonacji dźwięków prostych i złożonych	235
	Percepcja barwy dźwięków	235
	Lokalizacja dźwięków	235
11.2.	Głos ludzki	236
Rozdział 12.	Bioakustyka	239
12.1.	Zwierzęta lądowe	239
12.2.	Ssaki morskie	240
12.3.	Echolokacja	242
Rozdział 13.	Dźwięk w technice, diagnostyce i medycynie	245
13.1.	Akustyka w technice	245
13.1.1.	Elektroakustyka – mikrofony	245
13.1.2.	Spektroskopia akustyczna	251
13.1.3.	Telemetria akustyczna	251
13.2.	Geoakustyka	252
13.2.1.	Fale sejsmiczne	252
13.2.2.	Sejsmika refleksyjna	253

13.2.3. Echosonda i sonar	255
13.3. Akustyka medyczna	257
Dodatek. Wybrane pojęcia, twierdzenia i zależności matematyczne	261
Notacja zespolona drgań harmoniczych	261
Całki powierzchniowe pierwszego rodzaju	261
Gradient pola skalarnego	262
Dywergencja pola wektorowego	263
Rotacja pola wektorowego	263
Operatory Hamiltona ∇ (nabla), $(\mathbf{a}\nabla)$ i Laplace'a Δ	264
Podstawowe zależności zachodzące dla każdego rodzaju pola	265
Twierdzenie Ostrogradskiego–Gaussa	265
Równanie Legendre'a	265
Funkcja gamma (gamma Eulera) $\Gamma(x)$	267
Równanie Bessela	267
Bibliografia	271
Skorowidz	275