

SPIS TREŚCI

Wstęp.....	9
CZĘŚĆ I	
Aerodynamika i osiągi śmigłowca	11
Spis ważniejszych oznaczeń w części I	13
1. Wiadomości wstępne.....	17
1.1. Miejsce śmigłowca wśród statków powietrznych	17
1.2. Rys historyczny rozwoju śmigłowców.....	18
1.3. Układy konstrukcyjne śmigłowców.....	28
1.3.1. Zalety i wady podstawowych układów konstrukcyjnych śmigłowców	30
1.3.1.1. Układ jedowirnikowy ze śmigłem ogonowym.....	30
1.3.1.2. Układ podłużny zwany również układem tandem (układ Piaseckiego)	31
1.3.1.3. Dwuwirnikowy układ poprzeczny	32
1.3.1.4. Dwuwirnikowy układ współosiowy	34
1.3.1.5. Układ z krzyżującymi się wirnikami (układ Fletnera)	35
1.3.1.6. Układy śmigłowców wielowirnikowych	37
1.3.1.7. Układy śmigłowców odrzutowych (z bezpośrednim napędem wirnika nośnego)	40
1.3.1.8. Układy śmigłowców zespolonych (wirowców).....	43
1.3.1.9. Układy wirolotów	46
2. Podstawy aerodynamiki śmigłowca	49
2.1. Lot pionowy śmigłowca	49
2.1.1. Teoria strumienia	50
2.1.1.1. Prędkość i ciśnienie w strudze wirnika	50
2.1.1.2. Prędkość indukowana w zawisie	51
2.1.1.3. Straty idealne i rzeczywiste	52
2.1.1.4. Współczynnik jakości wirnika nośnego	53
2.1.2. Teoria elementu łopaty.....	55
2.1.2.1. Ciąg wirnika nośnego w zawisie	56
2.1.2.2. Moment oporowy	58
2.1.2.3. Wpływ prędkości końców łopat i współczynnika wypełnienia na doskonałość wirnika nośnego śmigłowca... 61	
2.1.2.4. Analiza charakterystyk w zawisie i locie pionowym	62
2.1.2.5. Prędkość indukowana w locie pionowym	62
2.1.2.6. Straty brzegowe	66

2.1.2.7. Ciąg i moment oporowy wirnika nośnego w locie pionowym.....	67
2.1.2.8. Wpływ wybranych parametrów na charakterystyki wirnika w zawisie locie pionowym	72
2.1.2.9. Wpływ Ziemi na charakterystyki wirnika nośnego	77
2.1.2.10. Metodyka obliczania charakterystyk wirnika nośnego	78
2.1.3. Autorotacja wirnika nośnego śmigłowca.....	80
2.1.3.1. Rodzaje strumieni przepływających przez tarczę wirnika nośnego.....	84
2.1.3.2. Wyznaczenie charakterystyk wirnika nośnego przy pionowym opadaniu	85
2.1.3.3. Opór wirnika nośnego przy opadaniu pionowym	89
2.2. Lot postępowy śmigłowca – wprowadzenie.....	90
2.2.1. Wahania łopat i fizyczna interpretacja szeregu Fouriera.....	92
2.2.2. Sterowanie wirnikiem nośnym w locie do przodu	97
2.2.2.1. Określenie osi.....	102
3. Siły i moment oporowy wirnika nośnego w ustalonym locie postępowym...	105
3.1. Prędkość indukowana i kąt natarcia wirnika nośnego w ustalonym locie postępowym	105
3.2. Ciąg wirnika nośnego w locie postępowym	110
3.3. Współczynniki szeregu Fouriera wahań łopaty w ustalonym locie postępowym	112
3.4. Moment wirnika nośnego w ustalonym locie postępowym	116
3.5. Siła podłużna wirnika nośnego w ustalonym locie postępowym	117
3.6. Prostoliniowy ustalony lot śmigłowca – analiza założeń	120
4. Metodyka obliczania osiązków śmigłowca	123
4.1. Moc rozporządzalna.....	123
4.2. Moc niezbędna	124
4.3. Prędkość wznoszenia śmigłowca.....	129
4.4. Barogram wznoszenia.....	133
4.5. Zestawienie mocy i charakterystyczne zakresy lotu	134
4.6. Zasięg i długotrwałość lotu.....	136
4.7. Ograniczenia maksymalnej prędkości śmigłowca.....	137
Literatura do części I.....	139
 CZĘŚĆ II	
Dynamika lotu śmigłowca	141
Spis ważniejszych oznaczeń w części II	143

5. Równania ruchu śmigłowca	149
5.1. Model fizyczny śmigłowca.....	149
5.2. Układy współrzędnych	152
5.3. Związki kinematyczne	163
5.3.1. Parametry Eulera–Rodriguesa.....	164
5.3.1.1. Sformułowanie związków kinematycznych za pomocą parametrów Eulera–Rodriguesa	166
5.4. Równania ruchu śmigłowca	168
5.4.1. Wektorowa metoda wyprowadzenia równań ruchu	169
5.4.2. Wyprowadzenie dynamicznych równań ruchu śmigłowca w oparciu o zasady mechaniki analitycznej	174
5.4.2.1. Wyprowadzenie równań ruchu z wykorzystaniem zasady Hamiltona.....	174
5.4.2.2. Wykorzystanie równań Boltzmanna–Hamela do generacji równań ruchu	180
5.4.2.3. Wykorzystanie równań Apela–Gibbsa do wyprowadzenia równań ruchu śmigłowca	182
5.4.3. Uwagi ogólne o generacji równań ruchu obiektów latających	186
6. Modelowanie dynamiki zespołu napędowego śmigłowca.....	193
6.1. Identyfikacja modelu śmigłowcowego silnika turbinowego.....	196
7. Stateczność dynamiczna śmigłowca	201
7.1. Podstawy teoretyczne analizy stateczności dynamicznej śmigłowca	201
7.2. Jakościowa analiza stateczności.....	205
7.3. Stateczność dynamiczna śmigłowca	207
7.3.1. Pochodne aerodynamiczne śmigłowca	208
7.3.2. Linearyzacja równań ruchu względem małych zaburzeń lotu ustalonego	210
7.3.2.1. Bezwymiarowa postać równań zaburzonego ruchu śmigłowca	212
7.3.2.2. Rozwiązanie zlinearyzowanego układu równań zaburzonego ruchu śmigłowca.....	215
7.3.2.3. Ilościowa analiza stateczności dynamicznej śmigłowca ..	217
8. Obciążenia aerodynamiczne śmigłowca	223
8.1. Obciążenia aerodynamiczne kadłuba śmigłowca	223
8.2. Obciążenia aerodynamiczne wirnika nośnego śmigłowca	227
8.2.1. Niestacjonarne obciążenia profilu łopaty wirnika nośnego śmigłowca ..	231
8.2.2. Zmodyfikowana metoda Theodorsena.....	233
9. Pochodne aerodynamiczne śmigłowca	237
9.1. Wprowadzenie.....	237

9.2. Pochodne aerodynamiczne sił i momentów wirnika nośnego działających w umownej płaszczyźnie symetrii śmigłowca.....	238
9.3. Pochodne aerodynamiczne asymetrycznych sił i momentów wirnika nośnego	244
9.4. Pochodne aerodynamiczne śmigła ogonowego.....	247
9.5. Pochodne współczynników wahań łopaty wirnika nośnego	249
9.5.1. Prędkość opływu elementu łopaty wirnika nośnego.....	249
9.5.2. Równanie różniczkowe wahań łopaty wirnika nośnego	252
9.5.3. Moment aerodynamiczny łopaty względem osi przegubu poziom.....	254
9.5.4. Współczynniki wahań łopaty w locie ustalonym śmigłowca.....	259
9.6. Współczynniki aerodynamiczne wirnika nośnego śmigłowca.....	262
9.7. Pochodne aerodynamiczne wirnika nośnego, śmigła ogonowego i kadłuba.....	267
9.7.1. Pochodne współczynnika przepływu wirnika nośnego	271
9.7.2. Pochodne współczynników aerodynamicznych wirnika nośnego	274
9.7.3. Pochodne współczynników aerodynamicznych śmigła ogonowego	275
9.7.4. Pochodne współczynników aerodynamicznych kadłuba	277
9.8. Obliczanie pochodnych aerodynamicznych metodą przyrostów skończonych	283
10. Parametry lotu ustalonego śmigłowca	287
10.1. Wstęp.....	287
10.2. Podłużna równowaga śmigłowca	287
10.3. Boczna równowaga śmigłowca	291
10.4. Obliczanie parametrów ustalonego lotu śmigłowca metodą kolejnych przybliżeń.....	294
10.4.1. Porównanie obliczeń warunków równowagi metodami przybliżoną i dokładną.....	294
11. Sterowność śmigłowca	297
11.1. Wstęp.....	297
11.2. Subiektywna ocena sterowności	298
11.2.1. Skala Coopera-Harpera.....	298
11.2.2. Subiektywne kryteria sterowności.....	299
11.3. Obiektywne kryteria sterowności	301
Literatura do części II	307