

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	11
ROZDZIAŁ 1 / ➔ / OGRANICZENIA EKSPLOATACYJNE SAMOŁOTU	13
1.1. WYKRESY $V-H$	13
1.2. PRZECIĄŻENIE W LOCIE	18
1.2.1. Definicja przeciążenia	18
1.2.2. Energia samolotu, wysokość energetyczna i jednostkowy nadmiar mocy	20
1.2.3. Wpływ przeciążenia na prędkość niezbędną do lotu	26
1.2.4. Przeciążenie rozporządzalne	26
1.2.5. Normalne przeciążenie graniczne	27
1.2.6. Zależność przeciążeń od różnych czynników	29
1.2.7. Przeciążenie maksymalne dopuszczalne	32
1.3. WYKRES $V-n$	35
ROZDZIAŁ 2 / ➔ / UKŁADY WSPÓŁRZĘDNYCH I RÓWNANIA RUCHU	39
2.1. UKŁADY WSPÓŁRZĘDNYCH I ICH TRANSFORMACJA	39
2.2. RÓWNANIA RUCHU POSTĘPOWEGO	43
2.2.1. Równania ruchu postępowego w układzie $Oxyz$ związanym z samolotem	43
2.2.2. Równania ruchu postępowego w układzie $Ox_y z_a$ związanym z przepływem	44
2.3. RÓWNANIA RUCHU OBROTOWEGO	44
2.4. ZWIĄZKI KINEMATYCZNE	45
2.5. KOŃCOWA POSTAĆ RÓWNAŃ RUCHU SAMOŁOTU	47
2.6. SIŁY DZIAŁAJĄCE NA SAMOŁOT	47
2.6.1. Siła ciężkości	48
2.6.2. Siła ciągu	49
2.6.3. Siły aerodynamiczne	49
2.6.4. Składowe siły wypadkowej w układach współrzędnych	50
2.7. MOMENTY SIŁ DZIAŁAJĄCE NA SAMOŁOT	51
2.7.1. Moment giroskopowy	51
2.7.2. Moment od silników	52
2.7.3. Moment aerodynamiczny	52
2.8. CHARAKTERYSTYCZNE STANY LOTU	53
2.8.1. Manewry wykonywane w płaszczyźnie pionowej	53
2.8.2. Manewr przestrzenny samolotu	55
2.8.3. Zakręt	56

ROZDZIAŁ 3 /→/ PROSTOLINIOWE ROZPĘDZANIE I HAMOWANIE SAMOLOTU 59

- 3.1. ROZPĘDZANIE SAMOLOTÓW Z TSO 59
- 3.2. ROZPĘDZANIE SAMOLOTÓW Z NŚ 66
- 3.3. HAMOWANIE SAMOLOTÓW 69

ROZDZIAŁ 4 /→/ NURKOWANIE SAMOLOTU 73

- 4.1. FAZA I – WPROWADZENIE W NURKOWANIE 73
 - 4.1.1. Równania ruchu samolotu w fazie wprowadzania w nurkowanie 74
 - 4.1.2. Prędkość w fazie wprowadzania w nurkowanie 75
 - 4.1.3. Spadek wysokości w trakcie wprowadzania w nurkowanie 76
 - 4.1.4. Czas wprowadzania w nurkowanie 77
 - 4.1.5. Zmiana kursu w czasie wprowadzania w nurkowanie 78
- 4.2. FAZA II – NURKOWANIE PROSTOLINIOWE 83
 - 4.2.1. Metoda dokładna obliczania nurkowania prostoliniowego 83
 - 4.2.2. Opis iteracji 84
 - 4.2.3. Parametry nurkowania prostoliniowego 85
 - 4.2.4. Uproszczona analiza nurkowania prostoliniowego 87
- 4.3. FAZA III – WYJŚCIE Z NURKOWANIA 89
 - 4.3.1. Równania ruchu samolotu w fazie wyjścia z nurkowania 90
 - 4.3.2. Prędkość w fazie wyjścia z nurkowania 90
 - 4.3.3. Promień krzywizny toru lotu i prędkość kątowna w fazie wyjścia z nurkowania 92
 - 4.3.4. Utrata wysokości w fazie wyjścia z nurkowania 92
 - 4.3.5. Czas wyjścia z nurkowania 93
- 4.4. WPŁYW PRZECIĄŻENIA PODŁUŻNEGO n_{xa} NA WYJŚCIE Z NURKOWANIA 97

ROZDZIAŁ 5 /→/ GÓRKA SAMOLOTU 103

- 5.1. FAZA I – WPROWADZENIE W GÓRKĘ 104
 - 5.1.1. Równania ruchu samolotu w fazie wprowadzania w górkę 104
 - 5.1.2. Prędkość w fazie wprowadzania w górkę 104
 - 5.1.3. Promień krzywizny toru lotu i prędkość kątowna w fazie wprowadzania w górkę 106
 - 5.1.4. Przyrost wysokości w trakcie wprowadzania w górkę 106
 - 5.1.5. Czas wprowadzania w górkę 107
- 5.2. FAZA II – LOT WZNOSZĄCY 110
- 5.3. FAZA III – WYJŚCIE Z GÓRKI 114
 - 5.3.1. Równania ruchu samolotu w fazie wyprowadzania z góry 115
 - 5.3.2. Prędkość na wyjściu z góry 116
 - 5.3.3. Promień krzywizny toru lotu i prędkość kątowna w fazie wyprowadzania z góry 116
 - 5.3.4. Przyrost wysokości w fazie wyprowadzania z góry 116
 - 5.3.5. Czas wyjścia z góry 116

5.4. PRZYROST WYSOKOŚCI W CAŁEJ GÓRCIE	119
5.5. UPROSZCZONA METODA OBLICZANIA CAŁEJ GÓRKI	120
5.6. WPŁYW PRZECIĄŻENIA PODŁUŻNEGO n_{x0} NA WYKONANIE GÓRKI	123

ROZDZIAŁ 6 /→/ PĘTLA 129

6.1. RÓWNANIA RUCHU SAMOŁOTU W PĘTLI	130
6.2. PRĘDKOŚĆ SAMOŁOTU W PĘTLI	131
6.3. KĄT NATARCIA W PĘTLI	133
6.4. MINIMALNA PRĘDKOŚĆ WEJŚCIA W PĘTLĘ	135
6.5. WYSOKOŚĆ PĘTLI	137
6.6. CZAS WYKONANIA PĘTLI	138
6.7. TOR LOTU W PĘTLI	140
6.8. UWAGI DOTYCZĄCE WYKONANIA PĘTLI	141

ROZDZIAŁ 7 /→/ PÓLPĘTLA PIONOWA (IMELMAN) 149

7.1. RÓWNANIA RUCHU SAMOŁOTU W PÓLPĘTLI	150
7.2. PIERWSZA CZĘŚĆ PÓLPĘTLI	151
7.3. DRUGA CZĘŚĆ PÓLPĘTLI	151
7.4. PRZEBIEG PARAMETRÓW LOTU W PÓLPĘTLI	152
7.5. KĄT NATARCIA W PÓLPĘTLI	155
7.6. MINIMALNA PRĘDKOŚĆ WEJŚCIA W PÓLPĘTLĘ	156

ROZDZIAŁ 8 /→/ PRZEWRÓT 161

8.1. RÓWNANIA RUCHU SAMOŁOTU W PRZEWROCIE	163
8.2. PRZEWRÓT ZE ZMIENNĄ PRĘDKOŚCIĄ	163
8.2.1. Prędkość samolotu w przewrocie ze zmienną prędkością	163
8.2.2. Utrata wysokości w przewrocie ze zmienną prędkością	164
8.2.3. Czas wykonania przewrotu ze zmienną prędkością	165
8.3. PRZEWRÓT ZE STAŁĄ PRĘDKOŚCIĄ	168
8.3.1. Czas wykonania przewrotu ze stałą prędkością	168
8.3.2. Utrata wysokości w przewrocie ze stałą prędkością	169

ROZDZIAŁ 9 /→/ ZAKRĘT SAMOŁOTU 175

9.1. ZAKRĘT PRAWIDŁOWY	176
9.1.1. Równania ruchu w zakręcie prawidłowym	176
9.1.2. Przeciążenie w zakręcie prawidłowym	177
9.1.3. Prędkość w zakręcie prawidłowym	178
9.1.4. Prędkość minimalna w zakręcie	179
9.1.5. Promień zakrętu prawidłowego	179
9.1.6. Prędkość kątowna w zakręcie prawidłowym	181

9.1.7. Czas zakrętu prawidłowego	181
9.1.8. Trajektoria zakrętu prawidłowego	182
9.1.9. Czynniki wpływające na wykonanie zakrętu prawidłowego	183
9.2. ZAKRĘT SAMOLOTU Z TSO	185
9.2.1. Prędkość maksymalna w zakręcie	185
9.2.2. Wykres $V-H$ w zakręcie	188
9.2.3. Ciąg niezbędny w zakręcie	188
9.2.4. Przeciążenie normalne	189
9.2.5. Promień zakrętu	191
9.2.6. Prędkość kątowna w zakręcie	195
9.2.7. Czas wykonania zakrętu	197
9.2.8. Wnioski dotyczące zakrętu prawidłowego dla samolotu z TSO	198
9.3. ZAKRĘT SAMOLOTU Z NŚ	199
9.3.1. Prędkość maksymalna w zakręcie	199
9.3.2. Wykres $V-H$ w zakręcie	200
9.3.3. Moc niezbędna w zakręcie	201
9.3.4. Przeciążenie normalne	201
9.3.5. Promień zakrętu	203
9.3.6. Prędkość kątowna w zakręcie	205
9.3.7. Czas wykonania zakrętu	208
9.3.8. Wnioski dotyczące zakrętu prawidłowego dla samolotu z NŚ	208
9.4. ZAKRĘT GRANICZNY	209
9.4.1. Ograniczenia w wykonaniu zakrętu	210
9.4.2. Relacja pomiędzy przeciążeniami $n_{za_C_{zo}}, n_{za_T_r}, n_{za_N_r}, n_{za+}$	212
9.4.3. Prędkość graniczna V_{gr}	213
9.4.4. Prędkości V_D i V_E	214
9.4.5. Inne warianty relacji pomiędzy przeciążeniami $n_{za_C_{zo}}, n_{za_T_r}, (n_{za_N_r}), n_{za+}$	215
9.5. WPŁYW ŚLIZGU NA WYKONANIE ZAKRĘTU	222
9.5.1. Zakręt ze ślizgiem i stałym przeciążeniem normalnym n_{za}	222
9.5.2. Zakręt ze ślizgiem i stałym przechyleniem μ_a	226
9.6. OGÓLNY PRZYPADK ZAKRĘTU USTALONEGO	229
9.6.1. Wariant I zakrętu	230
9.6.2. Wariant II zakrętu	233
9.6.3. Wariant III zakrętu	237
9.7. ZAKRĘT NIEUSTALONY BEZ ŚLIZGU I ZMIANY WYSOKOŚCI	241
9.8. ZAKRĘT PO TORZE KRZYWOLINIOWYM PRZESTRZENNYM	248

ROZDZIAŁ 10 /→ / ZAWRÓT BOJOWY 253

10.1. RÓWNANIA RUCHU DLA ZAWROTU BOJOWEGO	253
10.2. PRĘDKOŚĆ W ZAWROCIE BOJOWYM	255

10.3. KĄT ODCHYLENIA TORU LOTU W ZAWROCIE BOJOWYM	256
10.4. WYMAGANA PRĘDKOŚĆ POZĄTKOWA W ZAWROCIE BOJOWYM	259
10.5. CZAS WYKONANIA ZAWROTU BOJOWEGO	260
10.6. PRZYROST WYSOKOŚCI W ZAWROCIE BOJOWYM	262
10.7. PEŁNY ZAWRÓT BOJOWY	266

ROZDZIAŁ 11 /→/ SKOŚNA PÓŁPĘTLA 271

11.1. RÓWNANIA RUCHU DLA SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI	271
11.2. PRĘDKOŚĆ W SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI	275
11.3. WYMAGANA PRĘDKOŚĆ POZĄTKOWA W SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI	276
11.4. CZAS WYKONANIA SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI	277
11.5. PRZYROST WYSOKOŚCI W SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI	279
11.6. PROMIEŃ SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI I TORU LOTU	280
11.7. KĄT PRZECZYLENIA I POCHYLENIA TORU LOTU W SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI	282
11.8. ZMODYFIKOWANY SPOSÓB WYKONANIA SKOŚNEJ PÓŁPĘTLI	285
11.8.1. Pierwsza część skośnej półpętli	286
11.8.2. Druga część skośnej półpętli	286

ROZDZIAŁ 12 /→/ SPIRALA 293

12.1. RÓWNANIA RUCHU SAMOLOTU W SPIRALI	294
12.2. PODSTAWOWE PARAMETRY SPIRALI	295
12.3. SPIRALA WYKONYWANA Z WYŁĄCZONYM SILNIKIEM	297
12.3.1. Spirala optymalna – metoda przybliżona	299
12.3.2. Spirala optymalna – metoda dokładna	301

ROZDZIAŁ 13 /→/ START SAMOLOTU 307

13.1. ROZBIEG SAMOLOTU	309
13.1.1. Równania ruchu samolotu w czasie rozbiegu	309
13.1.2. Prędkość oderwania	311
13.1.3. Długość rozbiegu – wzory przybliżone	315
13.1.4. Czas rozbiegu – wzory przybliżone	316
13.1.5. Prędkość oderwania przedniego koła	316
13.1.6. Pierwszy etap rozbiegu	320
13.1.7. Drugi etap rozbiegu	322
13.1.8. Dobór kąta natarcia w drugiej fazie rozbiegu	323
13.1.9. Sposoby zmniejszania długości rozbiegu	325
13.1.10. Siły działające na samolot w trakcie rozbiegu	325
13.2. POWIETRZNY, PROSTOLINIOWY ETAP STARTU	327
13.2.1. Równania ruchu samolotu w czasie powietrznego, prostoliniowego etapu startu	327
13.2.2. Graniczny kąt wznoszenia	328

13.2.3. Kąt wznoszenia	331
13.2.4. Droga przebyta w czasie powietrznego, prostoliniowego etapu startu	333
13.2.5. Czas powietrznego, prostoliniowego etapu startu	333
13.3. POWIETRZNY, KRZYWOLINIOWY ETAP STARTU	336
13.3.1. Równania ruchu samolotu w czasie powietrznego, krzywoliniowego etapu startu	336
13.3.2. Prędkość samolotu w czasie powietrznego etapu startu	336
13.3.3. Droga przebyta w czasie powietrznego etapu wznoszenia	338
13.3.4. Zmiana wysokości w czasie powietrznego etapu startu	339
13.3.5. Czas powietrznego etapu startu	340
13.4. WYTRZYMANIE	342
13.4.1. Równania ruchu samolotu w czasie wytrzymania	342
13.4.2. Droga przebyta w czasie wytrzymania	343
13.4.3. Czas wytrzymania	344

ROZDZIAŁ 14 /✈️/ LĄDOWANIE SAMOLOTU 347

14.1. LĄDOWANIE KLASYCZNE	348
14.1.1. Planowanie	349
14.1.2. Wyrównanie	350
14.1.3. Wytrzymanie	363
14.1.4. Przyziemienie	365
14.1.5. Dobieg samolotu	367
14.2. LĄDOWANIE WEDŁUG SCHEMATU II	375
14.3. LĄDOWANIE WEDŁUG SCHEMATU III	378

LITERATURA 389

DODATEK A /✈️/ DANE SAMOLOTÓW DO OBLICZEŃ 393

DODATEK B /✈️/ WZORY CAŁKOWE 397