

Spis treści

Wykaz skrótów, oznaczenia zmiennych i stałych	7
WSTĘP	9
1. STAN WIEDZY	13
2. KLASYFIKACJA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH	17
3. ANALIZA ZADAŃ WYKONYWANYCH PRZEZ BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZNE	21
4. CHARAKTERYSTYKA BADAŃ SYSTEMOWYCH BSP	25
4.1. Ogólny proces badań	26
4.2. Zadania i specyfika badań systemowych BSP	27
4.3. Bezzałogowe statki powietrzne w ujęciu systemowym	29
5. METODYKA BADAŃ SYSTEMOWYCH BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH	31
5.1. Charakter badań	33
5.2. Postawy badawcze i metody badań systemowych BSP	34
5.3. Zasady modularnej metody symulacji	37
5.4. Model matematyczny podstawą badań BSP	39
6. MODELOWANIE SYSTEMU STEROWANIA LOTEM	43
6.1. Logiczna sieć działań programu symulacji	44
6.2. Model pilota-operatora	45
6.3. Zadany ruch bezzałogowego statku powietrznego i uchyby sterowania	49
6.3.1. Prawa sterowania lotem bezzałogowego statku powietrznego	49
6.3.1.1. Prawo sterowania w kanale pochylenia	49
6.3.1.2. Prawo sterowania w kanale przechylenia	50
6.3.1.3. Prawo sterowania w kanale odchylenia	50
6.3.1.4. Prawo sterowania w kanale prędkości	51
6.4. Model napędu	51
6.4.1. Dynamika silnika odrzutowego	52
6.4.2. Ciąg silnika odrzutowego	52
6.5. Model układów wykonawczych sterowania	53
6.6. Model obciążeń zewnętrznych	54
6.6.1. Siły zewnętrzne działające na BSP	56
6.6.1.1. Siły i momenty grawitacyjne	57
6.6.1.2. Siły i momenty aerodynamiczne	58
6.6.1.2.1. Opór aerodynamiczny	60
6.6.1.2.2. Aerodynamiczna siła boczna	61
6.6.1.2.3. Aerodynamiczna siła nośna	61
6.6.1.2.4. Aerodynamiczny moment pochylający	63

6.6.1.2.5. Aerodynamiczny moment odchylający	64
6.6.1.2.6. Aerodynamiczny moment przechylający ...	64
6.6.1.2.7. Mechanizm powstawania lokalnych kątów natarcia i momentu tłumiącego	65
6.6.1.3. Siły i momenty od silnika	66
7. MODELOWANIE BEZZAŁOGOWEGO STATKU POWIETRZNEGO JAKO OBIEKTU STEROWANIA	67
7.1. Równania ruchu środka masy	67
7.2. Zależności kinematyczne ruchu środka masy	68
7.3. Równania dynamiki ruchu BSP wokół środka masy	68
7.4. Zależności kinematyczne ruchu kąтового	69
7.5. Zależności trygonometryczne	69
7.6. Równania lotu BSP w płaszczyźnie pionowej	70
8. BADANIA PROCESU STEROWANIA BSP	71
8.1. Cel i warunki badań	71
8.1.1. Metody oceny i wskaźniki jakości sterowania	72
8.2. Model matematyczny bezzałogowego statku powietrznego	73
8.3. Model cyfrowy	75
8.4. Badania prawa sterowania BSP w kanale pochylenia	77
8.4.1. Badanie wpływu współczynnika wzmocnienia k_w i stałej różniczkowania R_w	78
8.5. Badania prawa sterowania BSP w kanale przechylenia	84
8.5.1. Badanie wpływu współczynnika wzmocnienia k_L i stałej czasowej różniczkowania R_L	85
8.6. Badania prawa sterowania prędkością lotu BSP	90
8.6.1. Badanie wpływu współczynnika wzmocnienia k_v i stałej całkowania I_0	90
8.7. Badania półautomatycznego naprowadzania BSP na zadane współrzędne punktów w trójwymiarowej przestrzeni	93
8.7.1. Badanie lotu (XYZ) podczas półautomatycznego naprowadzania BSP na współrzędne zadanych punktów trasy lotu	93
PODSUMOWANIE I WNIOSKI	97
LITERATURA	105
Spis rysunków i tabel	113
Załącznik Charakterystyka reprezentatywnych bezzałogowych statków powietrznych	117